

# EUROPEAN PATENT OFFICE

## Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 2001176766  
PUBLICATION DATE : 29-06-01

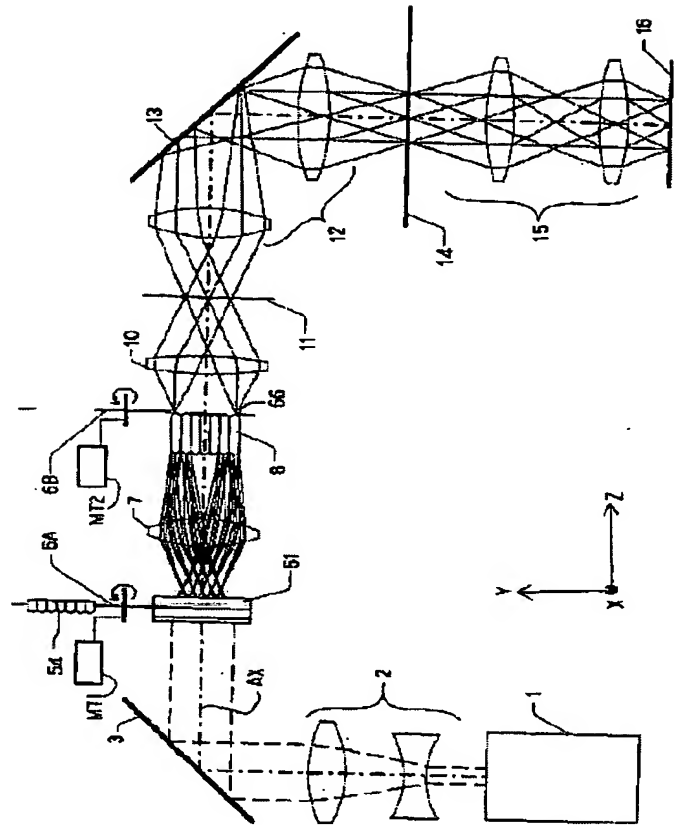
APPLICATION DATE : 29-10-99  
APPLICATION NUMBER : 11308186

APPLICANT : NIKON CORP;

INVENTOR : SHIBUYA MASATO;

INT.CL. : H01L 21/027 G03F 7/20

TITLE : ILLUMINATOR AND PROJECTION  
ALIGNER



ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an illuminator, etc., that forms various light intensity distributions at prescribed surface.

SOLUTION: This illuminator, that illuminates a mask 14 on which a prescribed pattern is formed is provided with a light source part 1 that supplies a flux of light, a conversion part for light of flux that contains diffraction optical elements, 51, 52 and 53 diffracting the flux of light from the light source part, so as to perform wavefront splitting and a relay lens 7 overlapping the diffracted fluxes of light with each other on a prescribed surface and further converting them into a flux of light of a prescribed sectional form on the prescribed surface, an optical integrator 8 that forms a substantial surface light source based on the flux of light diffracted by the conversion part, and a condenser optical system 12, that introduces the flux of light from the optical integrator to the mask, etc. Diffraction properties of the diffraction optical elements 51, 52 and 53 are variable, so that light intensity distribution at the prescribed surface can be varied.

COPYRIGHT: (C)2001,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-176766

(P2001-176766A)

(43) 公開日 平成13年6月29日 (2001.6.29)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テームコード (参考)
H 0 1 L 21/027		G 0 3 F 7/20	5 2 1 5 F 0 4 6
G 0 3 F 7/20	5 2 1	H 0 1 L 21/30	5 1 5 D 5 2 7

審査請求 未請求 請求項の数15 O L (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願平11-308186	(71) 出願人	000004112 株式会社ニコン 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号
(22) 出願日	平成11年10月29日 (1999. 10. 29)	(72) 発明者	後藤 明弘 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株 式会社ニコン内
(31) 優先権主張番号	特願平10-309046	(72) 発明者	金山谷 信道 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株 式会社ニコン内
(32) 優先日	平成10年10月29日 (1998. 10. 29)	(74) 代理人	100077919 弁理士 井上 義雄 (外1名)
(33) 優先権主張国	日本 (J P)		
(31) 優先権主張番号	特願平11-284213		
(32) 優先日	平成11年10月5日 (1999. 10. 5)		
(33) 優先権主張国	日本 (J P)		

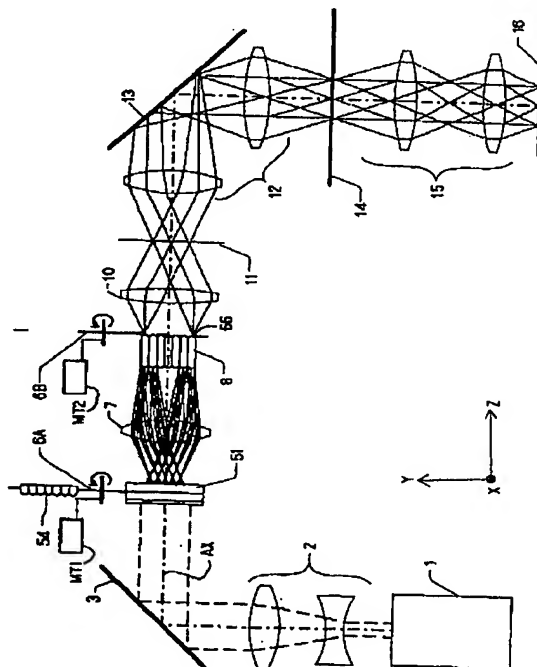
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 照明装置及び投影露光装置

(57) 【要約】

【課題】 所定面において種々の光強度分布を形成できる照明装置等を提供すること。

【解決手段】 所定のパターンが形成されたマスク14を照明する照明装置において、光束を供給する光源部1と、該光源部からの光束を波面分割するように回折させる回折光学素子51、52、53と、回折した光束を所定面上で互いに重畳させるとともに所定面上で所定の断面形状の光束に変換するリレーレンズ7を含む光束変換部と、光束変換部により回折された光束に基づいて実質的な面光源を形成するオプティカルインテグレータ8と、オプティカルインテグレータからの光束をマスクへ導くコンデンサ光学系12等を備え、回折光学素子51、52、53の回折特性は、所定面における光強度分布を変更可能にするために変更可能に構成されている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 所定のパターンが形成されたマスクを照明する照明装置において、

光束を供給する光源部と；該光源部からの光束を波面分割するように回折させる回折光学素子と、該回折光学素子からの回折光を所定面上で重畳させ該所定面上で所定の断面形状の光束に変換する光学要素とを含む光束変換部と；前記光束変換部からの光束に基づいて実質的な面光源を形成するオブティカルインテグレータと；該オブティカルインテグレータからの光束を前記マスクへ導く光学系と；を備え、

前記回折光学素子の回折特性は、前記所定面上における光強度分布を変更可能にするために変更可能であることを特徴とする照明装置。

【請求項2】 所定のパターンが形成されたマスクを照明する照明装置において、

所定波長の光を供給する光源部と；該所定波長の光に基づいて実質的な面光源を形成する波面分割型インテグレータと；該波面分割型インテグレータによる実質的な面光源からの光束を、前記マスク面または前記マスク面と共役な面へ重畳的に導くコンデンサ光学系と；を備え、前記光源部と前記波面分割型インテグレータとの間には、前記光源部からの光束を波面分割するように回折させる回折光学素子と、該回折光学素子からの回折光を所定面上で互いに重畳させ該所定面上で所定の断面形状の光束に変換する光学要素とを含む光束変換部が配置され、

前記波面分割型インテグレータの入射面は、実質的に前記所定面近傍に配置されることを特徴とする照明装置。

【請求項3】 所定のパターンが形成されたマスクを照明する照明装置において、

光束を供給する光源部と；該光源部からの光束を回折させる回折光学素子を含み、所定面上で所定の断面形状の光束に変換する光束変換部と；前記光束変換部からの光束に基づいて実質的な面光源を形成するオブティカルインテグレータと；該オブティカルインテグレータからの光束を前記マスクへ導く光学系と；を備え、前記回折光学素子は、一対の保護光学部材間が形成する密閉空間内に配置されることを特徴とする照明装置。

【請求項4】 前記光束変換部は、第1の回折特性を有する第1の回折光学素子と、第2の回折特性を有する第2の回折光学素子とを含み、

前記第1及び第2の回折光学素子は、照明光路内の位置と、照明光路外的位置との間で選択的に位置決めされることを特徴とする請求項1、2または3記載の照明装置。

【請求項5】 前記第1及び第2の回折光学素子を収納可能に設けられたカセットと；前記カセットと前記照明光路内の位置との間に設けられて、前記回折光学素子を搬送するために搬送路と；を備えることを特徴とする請

求項4記載の照明装置。

【請求項6】 前記光束変換部中の前記回折光学素子は、前記所定面の中心部の光強度と、前記所定面の周辺部の光強度とが異なる光強度分布となるような回折特性を有することを特徴とする請求項1、2または3記載の照明装置。

【請求項7】 前記光束変換部中の前記回折光学素子への入射ビーム形状と、前記波面分割型インテグレータの要素レンズの開口形状とを相似にすることを特徴とする請求項1、2または3記載の照明装置。

【請求項8】 前記光束変換部中の前記回折光学素子と前記インテグレータとの間に配置されて、前記回折光学素子から出射する0次光が前記インテグレータに入射することを防ぐための遮光部材を有することを特徴とする1乃至7の何れか一項記載の照明装置。

【請求項9】 前記光束変換部中の前記回折光学素子は、前記光学要素の焦点位置から光軸方向へ外れた位置に位置決めされることを特徴とする請求項1、2または3記載の照明装置。

【請求項10】 前記光束変換部中の光学要素の位置及び傾斜の少なくとも一方は調整可能であることを請求項1、2または3記載の照明装置。

【請求項11】 所定のパターンが形成されたマスク及び感光性基板を投影光学系に対して相対的に走査させつつ前記パターンを前記感光性基板へ転写するための投影露光装置に用いられる照明装置において、

光束を供給する光源部と；該光源部からの光束を回折させる回折光学素子と；該回折光学素子にて回折された光束に基づいて実質的な面光源を形成する波面分割型オブティカルインテグレータと；を備え、前記波面分割型オブティカルインテグレータは、複数の要素レンズを含み、

前記回折光学素子は、前記波面分割型オブティカルインテグレータの前記複数の要素レンズ上に照明領域を形成し、

前記回折光学素子による前記照明領域は、前記走査の方向に対応する方向に対して傾けられたエッジを有することを特徴とする照明装置。

【請求項12】 前記回折光学素子による前記照明領域は、互いに離されて位置決めされた複数の照明領域を有することを特徴とする請求項11記載の照明装置。

【請求項13】 前記回折光学素子による前記複数の照明領域の形状は、楕円形状であることを特徴とする請求項12記載の照明装置。

【請求項14】 所定のパターンが形成されたマスクを照明する照明装置において、

光束を供給する光源部と；該光源部からの光束を波面分割する第1のオブティカルインテグレータと、該第1のオブティカルインテグレータからの光束を所定面上で互いに重畳させる光学要素とを含む光束変換部と；該光束

変換部からの光束に基づいて実質的な面光源を形成する第2のオブティカルインテグレータと；該第2のオブティカルインテグレータからの光束をマスクに導く光学系と；を備え、前記光学要素は、複数のレンズ要素からなり、該複数のレンズ要素の少なくとも1つの移動により当該光学要素の屈折力及び焦点位置の少なくとも一方を調節可能であること特徴とする照明装置。

【請求項15】 前記マスクを支持する第1ステージと；前記マスクを照明する請求項1乃至14の何れか一項記載の照明装置と；被露光基板を保持する第2ステージと；前記照明された前記マスクのパターンの像を前記被露光基板上へ投影露光するための投影光学系と；を備えることを特徴とする投影露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、照明装置、特に半導体集積回路又は液晶デバイス等のためのマスクパターンを照明する装置、及び該照明装置に好適な投影露光装置に関する。

【0002】

【従来の技術】半導体素子等の回路パターン形成には、一般にフォトリソグラフィ技術と呼ばれる工程が必要である。この工程には通常、レチクル（マスク）パターンを半導体ウエハ等の基板上に転写する方法が採用される。基板上には感光性のフォトレジストが塗布されており、照射光像、すなわちレチクルパターンの透明部分のパターン形状に応じて、フォトレジストに回路パターンが転写される。そして、投影露光装置では、レチクル上に描画された転写すべき回路パターンの像が、投影光学系を介して基板（ウエハ）上に投影、露光される。かかる投影露光装置では、レチクルを照明するための照明光学系中に、フライアイレンズ等のオブティカルインテグレータが使用されており、レチクル上に照射される照明光の強度分布を均一化している。フライアイレンズ等のオブティカルインテグレータを用いる事で、レチクル上に照射される照明光の強度分布が均一化される理由を以下に述べる。

【0003】図25（A）はフライアイレンズを用いた光学系の模式図である。図25（A）において、光源1001を発した光束は、光学系1002により、フライアイレンズ1003に導かれる。ここで、フライアイレンズ1003を構成する各々のレンズの入射面と、被照明面1006（投影露光装置ではレチクル面）はそれぞれ共役である為、結果として、フライアイレンズに入射した光束は、フライアイレンズの要素レンズ単位で分割され、被照明面上で重ね合わされる。この為、フライアイレンズ入射面にて例えばガウス分布状の明暗差の大きい分布があったとしても、フライアイレンズの要素レンズ単位ではさほど大きな分布にはならず、さらにそれが

重なり合う事で平均化され、被照明面1006上では極めて均一性の高い照度分布が得られる。

【0004】さて、波面分割及びその重ねあわせという過程を2回繰り返すシステムが従来から知られており、以下このシステムをダブルフライアイレンズシステムという。ダブルフライアイレンズを用いた従来の投影露光装置の光学系の一例を、図25（B）に示す。エキシマレーザなどの光源1からの光束は、エキスパンダー2を通して光束の断面形状を任意の形状に変換された後、ミラー3及び光束の偏光を緩和する為の水晶プリズム4を介して複数の光学要素からなる第1フライアイレンズ（2次光源手段）5に入射し、その射出側面に多数の2次光源像を形成する。該多数の2次光源から発散する光束はリレーレンズ7により集光され、図26に示すように第2フライアイレンズ8の入射面を重畳的に均一照明する。その結果、第2フライアイレンズ8の射出面に、第1フライアイレンズのレンズ要素数 $m$ と第2フライアイレンズのレンズ要素数 $n$ の積 $m \times n$ に相当する数の多数の3次光源像を形成することができる。そして、3次光源からの光束は、絞リ9によりその径を制限され、レンズ群10、12により集光され、投影露光されるパターンが描画されたレチクル又はマスク14を重畳的に均一照明する。ここで、レンズ群10、12中には照明範囲を決定するための視野絞り11が配置されている。そして、均一照明された照明光にもとづき、レチクル又はマスクパターン14上に形成されたパターンは投影レンズ15を介して被露光物体である基板16上に投影される。

【0005】ダブルフライアイレンズと呼ばれるシステムの、通常の一つだけフライアイレンズを用いるシステムに対する特徴は、以下の通りである。なお、以下では記述を容易にする為、通常の一つだけフライアイレンズを用いるシステムをシングルフライアイレンズシステムと称する。

【0006】（1）レチクルを照明する照明光の照度を均一にする効果については、フライアイレンズの分割数が増えれば増えるほどその効果を増すが、フライアイレンズの製造費用はフライアイレンズの分割数におおよそ比例する。このため、シングルフライアイレンズシステムで多くの波面分割を実現しようとする、レンズの製造費用が莫大なものとなってしまう。しかし、ダブルフライアイレンズシステムでは、実効的に第1と第2のフライアイレンズの分割数の積が、その光学系の総合分割数となる為、製造コストをかけずに高性能な照明系を得る事が出来るという利点がある。例えば、第1フライアイレンズが100分割、第2フライアイレンズが100分割とすると、100分割のレンズ2個分の製造コストで10,000（＝100×100）分割と等価の照明系が得られる。

【0007】（2）シングルフライアイレンズでは、フ

ライアイレンズ入射面の光分布がそのままフライアイレンズに入射する。したがって、光源の振動等で該光分布が変化すると投影露光装置の空間的コヒーレンシーが変化してしまい好ましくない。しかし、ダブルフライアイレンズシステムでは第2フライアイレンズの入射面の光分布は、一度第1フライアイレンズにより均一化を行ったものであるため、光源が振動等してもその光分布は殆ど変化しない。このため、光源部に振動等が生じても結像性能に影響を与えにくいという利点を有する。

【0008】(3)さらに、ダブルフライアイレンズシステムは、開口絞りを交換した時の照度均一性の崩れ量、すなわち、理想的ケーラー照明状態からの変化量が少ないという利点も有している。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】さて、近年、これらの露光装置に要求される解像力等の性能は、理論的に算出される限界に極めて近付いている。一般に良く知られているように、レチクルのパターンにより、最適な光学系の定数(投影レンズの開口数、照明系の開口数等)の設定値は異なるが、装置能力の理論的限界付近で露光が行なわれている関係上、当然の事ながら装置側には、マスクのパターンに合わせて最適な光学系の定数が選択出来る事が求められる。

【0010】このことを照明系について見ると、少なくとも照明系の開口数が可変である事が必要となる。本発明が取り扱う、図25(B)に示した様なダブルフライアイレンズシステムにおいて、開口数を可変にする為には、開口絞り9の径をカメラの絞りの如く可変絞りにする、又は絞りを切り替え可能として対応するのが一般的である。ただし、単に絞り径を切り替えただけでは、絞り径を小さなものに変更した場合、光束を遮光する面積が大きくなり、照度が低下してしまう。

【0011】この種の露光装置において照度が低下する事は、スループットの低下を意味し、その結果、製造した製品の原価を跳ね上げることになる。製品のうち、特にメモリーについては製品一個当たりの利幅が極端に少ない為、半導体等の製造業界において製造原価は特に重要な項目である。この為、露光装置の種々の仕様の中でも「照度」は重要な項目の一つとなっており、照度低下は極力避ける必要がある。

【0012】ダブルフライアイレンズシステムでは、照度低下対策として、第1フライアイレンズを焦点距離が異なるレンズに、絞りと共に切り替える方式が提案されている。例えば、開口絞り径を小さくする場合には、第1フライアイレンズを焦点距離の長いものに切り替える。このようにすれば、第2フライアイレンズ入射面の中央近傍に光束が集まるので、開口絞り径が小さくても、殆ど照度が低下することがない。

【0013】この様に、開口絞り径が変わるだけあれば、第1フライアイレンズの焦点距離を切り替えるだけ

で、照度低下を押さえる事ができる。しかし、近年では、開口絞りとして円形以外の絞りをを用いる場合がある。例えば、図27(A)に示す様な輪帯状の絞りRSや、図27(B)に示す様な複数開口の絞りQSである。

【0014】図27(A)及び図27(B)の開口絞りRS、QSについて、簡単に解説する。レチクルのパターンが微細になり、装置の解像限界付近にて露光がおこなわれるようになると、照明系の開口絞りから発した光束のうち、解像に寄与するのは、開口絞りの周辺部から発した光のみになり、開口の中央部から発した光は像のコントラストを下げるだけの働きしか持たなくなる。換言すると、レチクルの情報をウエハに伝達する際、情報伝達のエネルギーを与えるのは開口絞りの周辺部から発した光のみであり、開口の中央部から発した光はいわばノイズを発生するだけになってしまうという事になる。したがって、開口絞り中央部からは光を発しないほうが望ましいといえる。この様な発想から、図27(A)の様な絞りRSが考案された。図27(B)に示す絞りQSは、更に解像するパターンを縦方向のラインと横方向のラインのみに限定した場合の絞りである。この場合は、更に、開口絞りの上下、左右から発する光もノイズにしかならないので、開口絞りの上下、左右も更に遮光する。

【0015】この様な円形でない開口絞りの場合、従来の様に第1フライアイレンズの焦点距離を切り替えるだけではこれらの絞りが遮光する中央部のみに光束が届かないようにする事は出来ない。例えば、図25(B)に示す従来の第1フライアイレンズ5によれば、第2フライアイレンズ8の出射端に輪帯開口絞りRSを配置した場合において、第2フライアイレンズ8を全面にわたって照射することになるので、光量の損失が大きくなってしまう(図28参照)。なお、特開平5-206007号公報には、かかる照度低下を防止する提案がなされているが、装置が大型化してしまい製造費用、設置スペースの確保などの点で問題である。

【0016】本発明は、上記問題に鑑みてなされたものであり、所定面において種々の光強度分布を形成できる照明装置、該照明装置に好適な投影露光装置、並びに該露光装置を用いた露光方法を提供することを目的とする。

【0017】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明の第1の照明装置は、所定のパターンが形成されたマスクを照明する照明装置であって、光束を供給する光源部と、該光源部からの光束を波面分割するように回折させる回折光学素子と、該回折光学素子からの回折光を所定面上で重畳させ該所定面上で所定の断面形状の光束に変換する光学要素とを含む光束変換部と、前記光束変換部からの光束に基づいて実質的な面光源を形成

するオブティカルインテグレータと、該オブティカルインテグレータからの光束を前記マスクへ導く光学系とを備え、前記回折光学素子の回折特性は、前記所定面上における光強度分布を変更可能にするために変更可能であることを特徴とする。

【0018】上記照明装置では、従来のフライアイレンズに代えて、光源部からの光束を波面分割するように回折させる回折光学素子と該回折光学素子からの回折光を所定面上で重畳させ該所定面上で所定の断面形状の光束に変換する光学要素とを含む光束変換部を用いており、前記回折光学素子の回折特性は、前記所定面上における光強度分布を変更可能にするために変更可能である。したがって、回折光学素子の回折特性の変更により、照明条件の変更に応じて所望の領域を正確に照明できるので、光量を有効に使用でき高照度な照明が可能である。また、フライアイレンズに比較して材料が少なく済み、かつ大きさも小さいので製造コストを低減できる。さらに、簡便な構成で様々な形状の領域を照明できる。

【0019】本発明の第2の照明装置は、所定のパターンが形成されたマスクを照明する照明装置において、所定波長の光を供給する光源部と、該所定波長の光に基づいて実質的な面光源を形成する波面分割型インテグレータと、該波面分割型インテグレータによる実質的な面光源からの光束を、前記マスク面または前記マスク面と共役な面へ重畳的に導くコンデンサ光学系とを備え、前記光源部と前記波面分割型インテグレータとの間には、前記光源部からの光束を波面分割するように回折させる回折光学素子と、該回折光学素子からの回折光を所定面上で互いに重畳させ該所定面上で所定の断面形状の光束に変換する光学要素とを含む光束変換部が配置され、前記波面分割型インテグレータの入射面は、実質的に前記所定面近傍に配置されることを特徴とする。

【0020】上記照明装置では、光源部と波面分割型インテグレータとの間に、光源部からの光束を波面分割するように回折させる回折光学素子と回折光学素子からの回折光を所定面上で互いに重畳させ該所定面上で所定の断面形状の光束に変換する光学要素とを含む光束変換部が配置されており、前記波面分割型インテグレータの入射面が、実質的に前記所定面近傍に配置される。したがって、前記所定面近傍に配置される前記波面分割型インテグレータ入射面の所望の領域を必要に応じて正確に照明できるので、光量を有効に使用でき高照度な照明が可能である。また、フライアイレンズに比較して材料が少なく済み、かつ大きさも小さいので製造コストを低減できる。さらに、簡便な構成で様々な形状の領域を照明できる。

【0021】本発明の第3の照明装置は、所定のパターンが形成されたマスクを照明する照明装置において、光束を供給する光源部と、該光源部からの光束を回折させる回折光学素子を含み、所定面上で所定の断面形状の光

束に変換する光束変換部と、前記光束変換部からの光束に基づいて実質的な面光源を形成するオブティカルインテグレータと、該オブティカルインテグレータからの光束を前記マスクへ導く光学系とを備え、前記回折光学素子は、一対の保護光学部材間が形成する密閉空間内に配置されることを特徴とする。

【0022】上記照明装置でも、従来のフライアイレンズに代えて、光束を所定の断面形状に変換する回折光学素子を用いているので、所望の領域を正確に照明でき、光量を有効に使用して高照度な照明が可能である。また、フライアイレンズに比較して材料が少なく済み、かつ大きさも小さいので製造コストを低減できる。さらに、簡便な構成で様々な形状の領域を照明できる。また、上記照明装置では、回折光学素子が一対の保護光学部材間が形成する密閉空間内に配置されるので、周囲の不純物ガス等が回折光学素子の表面に付着して透過率を低下させることを防止できる。

【0023】上記装置の好ましい態様では、前記光束変換部が第1の回折特性を有する第1の回折光学素子と第2の回折特性を有する第2の回折光学素子とを含み、前記第1及び第2の回折光学素子は、照明光路内の位置と照明光路外の位置との間で選択的に位置決めされる。

【0024】上記照明装置では、第1の回折特性を有する第1の回折光学素子と第2の回折特性を有する第2の回折光学素子とを有しているので、これら回折光学素子の切替えて2通りのパターン領域を簡便に変更して照明できる。

【0025】上記装置の好ましい態様では、前記第1及び第2の回折光学素子を収納可能に設けられたカセットと、前記カセットと前記照明光路内の位置との間に設けられて前記回折光学素子を搬送するための搬送路とを備えることを特徴とする。

【0026】上記照明装置では、回折光学素子を収納可能に設けられたカセットと、前記回折光学素子を搬送するための搬送路とを備えるので、多種の回折光学素子を準備し必要に応じて適宜交換すれば、照明条件を多様に設定した場合にも対応することができる。

【0027】上記装置の好ましい態様では、前記光束変換部中の前記回折光学素子が、前記所定面の中心部の光強度と、前記所定面の周辺部の光強度とが異なる光強度分布となるような回折特性を有することを特徴とする。

【0028】上記照明装置では、前記回折光学素子の回折特性が、前記所定面の中心部と前記所定面の周辺部とで異なる光強度分布となるので、例えば輪帯等の種々の形状の領域を効率よく照明できる。

【0029】上記装置の好ましい態様では、前記光束変換部中の前記回折光学素子への入射ビーム形状と、前記波面分割型インテグレータの要素レンズの開口形状とを相似にすることを特徴とする。

【0030】上記照明装置では、前記回折光学素子への

入射ビーム形状と前記波面分割型インテグレータの要素レンズの開口形状とを相似にするので、前記波面分割型インテグレータにより実質的な面光源を効率よく充填して形成することができ、ここにおける巨視的な強度分布の均一性を向上させ、さらにはマスクを所望の状態で照明することができる。

【0031】上記装置の好ましい態様では、前記光束変換部中の前記回折光学素子と前記インテグレータとの間に配置されて、前記回折光学素子から出射する0次光が前記インテグレータに入射することを防ぐための遮光部材を有することを特徴とする。

【0032】上記照明装置では、遮光部材が前記回折光学素子から出射する0次光が前記インテグレータに入射することを防ぐので、かかる0次光がノイズ光となってマスク等の上に照明の特異点が形成され、照明不均一となることを防止することができる。

【0033】上記装置の好ましい態様では、前記光束変換部中の前記回折光学素子は、前記光学要素の焦点位置から光軸方向へ外れた位置に位置決めされることを特徴とする。

【0034】上記照明装置では、前記回折光学素子が前記光学要素の焦点位置から光軸方向へ外れた位置に位置決めされるので、同一次数の回折光が干渉して干渉ノイズを発生させることを簡易に防止できる。

【0035】上記装置の好ましい態様では、前記光束変換部中の光学要素の位置及び傾斜の少なくとも一方は調整可能であることを特徴とする。

【0036】上記照明装置では、前記光束変換部中の光学要素の位置及び傾斜の少なくとも一方が調整可能であるので、マスク若しくはウエハ面での照明ムラを解消することができ、マスク若しくはウエハ面での照明のテレセン度を高精度に調整することができる。

【0037】本発明の第4の照明装置は、所定のパターンが形成されたマスク及び感光性基板を投影光学系に対して相対的に走査させつつ前記パターンを前記感光性基板へ転写するための投影露光装置に用いられる照明装置において、光束を供給する光源部と、該光源部からの光束を回折させる回折光学素子と、該回折光学素子にて回折された光束に基づいて実質的な面光源を形成する波面分割型オブティカルインテグレータとを備え、前記波面分割型オブティカルインテグレータは、複数の要素レンズを含み、前記回折光学素子は、前記波面分割型オブティカルインテグレータの前記複数の要素レンズ上に照明領域を形成し、前記回折光学素子による前記照明領域は、前記走査の方向に対応する方向に対して傾けられたエッジを有することを特徴とする。

【0038】上記照明装置では、前記回折光学素子による前記照明領域が前記走査の方向に対応する方向に対して傾けられたエッジを有するので、このエッジに対応する複数の要素レンズにおいて、走査方向に直交する方向

(走査直交方向)の照度分布が連続的に変化する。よって、感光性基板上においては、走査直交方向に関し、全体としては均一な照度分布を得ることができる。

【0039】上記装置の好ましい態様では、前記回折光学素子による前記照明領域が互いに離されて位置決めされた複数の照明領域を有する。

【0040】上記装置の好ましい態様では、前記回折光学素子による前記複数の照明領域の形状が楕円形状である。

【0041】本発明の第5の照明装置は、所定のパターンが形成されたマスクを照明する照明装置において、光束を供給する光源部と、該光源部からの光束を波面分割する第1のオブティカルインテグレータと、該第1のオブティカルインテグレータからの光束を所定面上で互いに重畳させる光学要素を含む光束変換部と、該光束変換部からの光束に基づいて実質的な面光源を形成する第2のオブティカルインテグレータと、該第2のオブティカルインテグレータからの光束をマスクに導く光学系とを備え、前記光学要素は、複数のレンズ要素からなり、該複数のレンズ要素の少なくとも1つの移動により当該光学要素の屈折力及び焦点位置の少なくとも一方を調節可能であること特徴とする。

【0042】上記照明装置では、前記光学要素が複数のレンズ要素からなり、該複数のレンズ要素の少なくとも1つの移動により当該光学要素の屈折力及び焦点位置の少なくとも一方を調節可能であるので、所定面上に重畳する光束の大きさや寸法比等を必要に応じて適宜調整することができる。よって、マスク上における照度分布を所望の状態とできるとともに、照明光の損失を最小限に抑えることができる。

【0043】本発明の投影露光装置は、前記マスクを支持する第1ステージと、前記マスクを照明する上述のうちの何れかの照明装置と、被露光基板を保持する第2ステージと、前記照明された前記マスクのパターンの像を前記被露光基板上へ投影露光するための投影光学系とを備えることを特徴とする。

【0044】上記投影露光装置では、本発明にかかる照明装置を備えているので、効率よくマスクを照明できる。したがって、露光時間の短縮化を図ることができ、スループットが向上する。

【0045】以上説明した本発明の照明装置において、光束変換部中の光学要素は、焦点距離を変更可能なズーム光学系であることが好ましい。このズーム光学系の焦点距離変更動作によっても所定面上の光強度分布を変更することが可能であり、ひいてはインテグレータが形成する実質的な面光源の大きさや形状を変更することができる。

【0046】なお、本発明における波面分割型インテグレータとは、複数の光学要素(レンズ要素または反射鏡要素)をマトリックス状に集積して構成されたフライア



イレレンズや、光透過性基板にエッチングなどの手法により複数の微小レンズ面（反射面）をマトリックス状に設けたマイクロ・フライアイ・レンズなどを含む。

【0047】また、本発明において、回折光学素子を密閉空間内に配置する場合には、この密閉空間内を酸素濃度を低減させた気体、例えば窒素、ヘリウムなどの不活性ガスで充填することが好ましい。

【0048】また、本発明において、光束変換部中の回折光学素子と交換可能に設けられて、光源部からの光束に基づいて実質的な面光源を形成するための補助オブティカルインテグレータをさらに有することが好ましい。

【0049】また、本発明において、所定面の中心部と周辺部との光強度が異なるような光強度分布とは、例えば、所定面上において照明装置の光軸を囲む輪帯状（ドーナツ状）の領域で光強度が強くなるような光強度分布（輪帯状分布）、所定面上において照明装置の光軸の周りに実質的に等角度間隔で配置された4ヶ所以上の複数の領域で強度が強くなるような光強度分布（4箇所の場合：4重極分布、8箇所の場合8重極分布）などを含むものである。

【0050】さて、本発明は、所定のパターンが設けられたマスクを被露光基板（ワーク）へ転写する投影露光方法であって、本発明（請求項1～10）の何れか一項記載の照明装置により、前記マスクに対して照明光を供給する工程と、前記マスクと前記被露光基板との間に配置された投影光学系を用いて該照明されたマスクのパターン像を前記被露光基板上に形成する工程とを含むものである。この投影露光方法によれば、高効率にパターン像を被露光基板に形成できるので、スループットが向上する。

【0051】

【発明の実施の形態】以下、添付図面に基づいて本発明の実施の形態について説明する。

【0052】（第1実施形態）図1は、本発明の実施の形態にかかる投影露光装置の構成を示す図である。エキシマレーザなどの光源1からの光束は、ビームエキスパンダ2により光束の断面形状が所望の形状に変換された後、反射ミラー3を介して、レボルバ6Aに設けられている第1の回折光学素子51に入射し、後述するような特定の断面形状を有する光束に回折される。次に、リレーレンズ7により集光され、波面分割型インテグレータであるフライアイレンズ8の入射面を重畳的に均一照明する。その結果、フライアイレンズ8の射出面に実質的な面光源を形成することができる。

【0053】ここで、光源1とビームエキスパンダ2は、光源部となっている。また、オブティカルインテグレータであるフライアイレンズ8と、光学素子であるリレーレンズ7からなる合成レンズ系は、結像光学系となっており、詳細は後に説明するが、回折光学素子51の射出面近傍の有効領域全体がフライアイレンズ8の射出

側のはほぼ全面に結像する設計となっている。

【0054】フライアイレンズ8の射出側の面光源を発生した光束は、レボルバ6Bに設けられている開口絞り66により通過光束の形状を制限された後、コンデンサー光学系10により一旦重畳するように集光される。このように重畳された光束は、リレー光学系12を経て、パターンが描画されたレチクルまたはマスク14を重畳的に均一照明する。ここで、コンデンサー光学系10とリレー光学系12と間の光路中には、照明範囲を決定するための視野絞り11が配置されている。そして、均一な照明光に基づき、投影レンズ15がレチクル又はマスク14上に形成されたパターンを被露光物体であるウエハ16上に投影露光する。

【0055】ここで、レボルバ6Aには、図2（A）に示すように、複数の回折光学素子51、52、53と、複数の補助フライアイレンズ54、55、56とが設けられている。そして、図1のモータMT1により光軸AXを中心としてレボルバ6Aを回転させる事で、回折光学素子及び補助フライアイレンズの中から任意の一つを選択的に切り替え可能な構成となっている。また、開口絞り61～66も同様に、図2（B）に示すように、種々の開口形状を有する絞りがレボルバ6Bにより選択的に切り換え可能な構成である。

【0056】レボルバ6Aを回転することで、補助フライアイレンズ54～56を選択した時は、ダブルフライアイレンズシステムとなる。このダブルフライアイレンズシステムでは、フライアイレンズ8の射出面に、補助フライアイレンズのレンズ要素数mとフライアイレンズ8のレンズ要素数nとの積 $m \times n$ に相当する数の多数の3次光源像を形成することができる。ここで、補助フライアイレンズ54は、開口絞り65に対応し、同様にレンズ55は絞り63に、レンズ56は絞り64にそれぞれ対応している。なお、従来技術においても、本実施形態の補助フライアイレンズ54～56に対応する第1フライアイレンズを切り換えて、径の小さい開口絞りに対応させることは行われている。

【0057】これに対して、本実施形態の特徴の一つは、このような従来技術の第1フライアイレンズ（本実施形態では補助フライアイレンズ54～56）を切り換える選択肢を増やして、第1から第3の回折光学素子51～53をも選択できるように構成されていることである。

【0058】次に、上記した第1から第3の回折光学素子51～53の詳細について説明する。これらの格子は、位相型回折光学素子であり、複数の微小な位相パターンや透過率パターンを配設して構成されている。図3（A）は、回折光学素子をX方向から見た断面形状を示す図である。回折光学素子に入射した光のうち、Aで示す部分を透過した光は位相がゼロ、Bで示す部分を透過した光は位相が $\pi$ だけ遅れる。したがって、波動光学的



に見るとこれら2つの光は打ち消しあって、図3(B)に示すように0次光(直接透過光)が無くなる。そのため、回折光学素子51を透過した光は±1次光(又は±2次光)として回折され、リレーレンズ7を透過する。そして、図3(C)に示すように所定の照射面P上ではデルタ( $\delta$ )関数状の強度分布Iを有する照明となる。この現象を利用して、種々のバリエーションの位相パターンや透過率パターンを加えた回折光学素子を使用すると、照射面P、つまりフライアイレンズ8の入射面上で所望の光強度分布を得ることができる。なお、上記回折光学素子は、位相、透過率、屈折率などの違いにより光を回折させる全ての素子を含むものをいう。

【0059】図4(A)は、一例として第1の回折光学素子51に光束が入射する様子を示す斜視図である。図4(B)は回折光をX方向から見た様子、図4(C)は回折光をY方向から見た様子をそれぞれ示す。ここで、光軸をZ軸とし、これに対して垂直に交わる縦の方向をY軸、横の方向をX軸として、ZY面での角度を $\theta_y$ 、ZX面での角度を $\theta_x$ とする。入射光は第1の回折特性により回折角度 $\theta_{x0} \sim \theta_{x1}$ 、 $\theta_{y0} \sim \theta_{y1}$ の範囲で回折される結果、回折光の断面形状は略輪帯形状となる。そして、リレーレンズ7を介してフライアイレンズ8の入射面上に輪帯形状の光強度分布を形成する。

【0060】図5は、第1の回折光学素子51がフライアイレンズ8の入射面に形成する照明領域を説明する図である。第1の回折光学素子51を使用すると、第1の回折特性により、回折後の光束の断面形状が略輪帯形状になる。そして、リレーレンズ7を通過した光束は、フライアイレンズ8の入射面上で、斜線で示す略輪帯状の照明領域IAのみにほぼ均一な光強度分布を形成する。ここで、点線で示す輪帯は、第1の回折光学素子51に対応して配置された開口絞り66による開口領域AAを示す。図からも明かなように、第1の回折光学素子51及びリレーレンズ7によって形成した輪帯形状の光束により、開口絞り66の開口形状に対応するフライアイレンズ8の要素レンズ8aのみを照明できるので、光源1からの光量を極めて高効率に使用できる。

【0061】一方、従来型の補助フライアイレンズ54～56の照明領域は、図26の斜線で示す領域となる。このため、フライアイレンズ8の射出側に配置されている開口絞りの形状が図27(A)のような輪帯形状(斜線部分が遮光部分)である場合に補助フライアイレンズ54～56をあえて用いると、図6の斜線部で示す部分の光量が遮光されてしまうので、光量損失が大きくなる。

【0062】第1の回折光学素子51については、さらに照明効率を上げるために、輪帯状の開口絞り66を通過する光束に寄与する要素レンズ8aのみの輪郭に沿って照明を行わせることもできる。この場合、回折光学素子51の回折角度 $\theta_x$ 、 $\theta_y$ の範囲を適宜変更して、図7

(A)に示すように、フライアイレンズ8の入射面で、中心部の光強度と周辺部の光強度分布とが異なるような多角輪帯状の照明領域IAにする。これにより、必要な要素レンズ8aのみを照明することができるので、輪帯状の開口絞り66を極めて効率良く照明できる。

【0063】また、第1の回折光学素子51として、図7(B)に示すように、回折光を外側形状が樽型、内側形状が六角形である多角輪帯形状に変換する回折特性を有する回折光学素子を使用することもできる。この場合も、フライアイレンズ8を構成する要素レンズ8aのうち照明に利用されるものの大きさに合わせた照明領域IAになり、簡易に、照度の均一性を保ちつつ、さらに照明効率を上げることができる。

【0064】また、第1の回折光学素子51として、図7(C)に示すように、照明領域IAの外側、及び内側形状がともに楕円輪帯形状(図の太線)となるような回折特性を有する回折光学素子を使用することもできる。これによっても、フライアイレンズ8を構成する要素レンズ8aのうち照明に利用されるものの大きさに合わせた照明を行なうことができ、照明均一度を保ちつつ照明効率を上げることができる。

【0065】また、フライアイレンズ8を構成する各要素レンズ8aが不規則、すなわち規則的な格子状に整理していない場合は、回折光の断面形状の外形が円形又は多角形、内形が多角形又は円形が多角輪帯状となるような回折特性を有する回折光学素子を適当な回折角で使用するにより、フライアイレンズ8を構成する要素レンズ8aのうち照明に利用されるものの大きさに合わせた照明を行うことができる。

【0066】図8は、回折光学素子51の有効領域とフライアイレンズ8の要素レンズ8aとの関係を説明する図であり、図8(A)は回折光学素子51を、図8

(B)はフライアイレンズ8の一部を示す。図からも明かなように、回折光学素子51の有効領域51aと、フライアイレンズ8を構成する各要素レンズ8aのXY断面とは、ともに長方形であり、ほぼ相似形となるように設定されている。このような設定により、フライアイレンズ8の射出面に生成される光点列LMの巨視的構造が最も稠密となり、これを近似的には面光源とみなすことができる。つまり、フライアイレンズ8の射出側の開口絞り66の位置における巨視的な光強度分布の均一性を向上させることができ、さらにはレチクル14やウエハ16の均一な照明を達成することができる。

【0067】なお、回折光学素子51の有効領域51aは、回折光学素子51のうち光学要素が形成されている領域の射出面近傍におけるXY断面形状、及び回折光学素子51への入射ビームのXY断面形状のいずれかのうち狭い方とほぼ一致する。この実施形態では、回折光学素子51の光学要素が形成されている領域と回折光学素子51への入射ビーム形状とを、ともにフライアイレン

ズ8を構成する要素レンズ8aの断面形状と一致させている。

【0068】照明条件を変更する場合、例えばモータMT2によってレボルバ6Bを回転させて、開口絞りとして、図2(B)に示す大きな径の輪帯絞り63(絞り66と同じ形状で大きさが異なる)を光路中に位置させることができる。このように大きな径の輪帯絞り63に交換した場合、リレーレンズ7が可変ズーム光学系であれば、第1の回折光学素子51を光路中に位置させたまま、光量の損失無しにフライアイレンズ8を照明すること

【0069】また、モータMT2によりレボルバ6Bを回転し、開口絞り61を選択した場合は、連動してモータMT1でレボルバ6Aを回転し、第2の回折光学素子52を光路中に位置させる。第2の回折光学素子52は、第2の回折特性を有し、回折後の光束の断面形状が4方向に分離した形状となる。そして、リレーレンズ7を介した後、フライアイレンズ8の入射面上で図9

(A)に示すように四つ目状の光強度分布である照明領域IAを形成する。そのため、従来の補助フライアイレンズを使用した場合に比較して、中心を通る十字状の領域を無駄に照明することがなくなり、字照度効率を極めて高くすることができる。

【0070】さらに好ましくは、四つ目形状のうちの一つの断面形状が多角形、特に図9(B)に示すように五角形形状をしたものを使用すると、フライアイレンズ8を構成する要素レンズ8aの大きさに最適な照明になるので、照度の均一性を維持しつつさらに照度効率を向上することができる。

【0071】なお、フライアイレンズ8を構成する各要素レンズ8aが不規則に配設されている場合、即ち格子状に整列していない場合に、四つ目形状の回折光の外形状が多角形となる回折特性を有する回折光学素子を使用することにより、フライアイレンズ8を構成するうち必要な要素レンズ8aの大きさに最適な照明を行うことができる。

【0072】また、モータMT2によりレボルバ6Bを回転し、開口絞り62を選択した場合は、連動してモータMT1でレボルバ6Aを回転し、第3の回折光学素子53を光路中に位置させる。第3の回折光学素子53は、第3の回折特性を有し、図10に示すように、回折光の断面形状が略円形状(樽型形状)になる。そして、リレーレンズ7を介してフライアイレンズ8の入射面上で略円形状の光強度分布である照明領域IAを形成する。このため、従来の補助フライアイレンズを使用した場合に比較して、照度効率を極めて高くすることができる。

【0073】なお、フライアイレンズ8を構成する各要素レンズ8aが不規則に配設されている場合、即ち格子状に整列していない場合に、回折光の外形状が多角形

となる回折特性を有する回折光学素子を配置することにより、フライアイレンズ8を構成する必要な要素レンズ8aの大きさに最適な照明を行うことができる。これにより、照度の均一性を維持し、かつ光量の損失を大幅に低減できる。

【0074】以上の実施形態では、第1の回折光学素子51の有効領域と、フライアイレンズ8の要素レンズ8aの断面形状とが相似であるとして説明したが、第2及び3の回折光学素子52、53の有効領域と、フライアイレンズ8の要素レンズ8aの断面形状も互いに相似となっている。したがって、照明条件の変更に伴って第2及び3の回折光学素子52、53を選択した場合にも、フライアイレンズ8の出射側の開口絞り61、62の位置における巨視的な光強度分布の均一性を向上させることができ、さらにはレチクル14やウェハ16の均一な照明を達成することができる。

【0075】また、特に投影原版としてのレチクルとワークとしての基板とを投影光学系に対して移動させつつ露光を行う走査型の投影露光装置に本実施形態を適用する場合には、波面分割型のオブティカルインテグレータとしてのフライアイレンズ8を構成する複数の要素レンズ8aの個々の形状が長方形となる(図8(B)等参照)。この場合、フライアイレンズ8上に形成される照明領域のエッジの方向が、複数の要素レンズ8aにおいて走査方向と対応する方向(典型的には要素レンズ8a短辺に沿った方向)に平行となると、被照射面としてのウェハ上での照度分布が走査直交方向において所望の分布とならないおそれがある。

【0076】そこで、特に4重極照明を行うときには、回折光学素子52及びリレーレンズ7によってフライアイレンズ8の入射面上に形成される4つの照明領域のエッジの方向を、フライアイレンズ8を構成する複数の要素レンズ8aの走査方向に対応した方向、つまり要素レンズ8aの短辺方向に対して傾斜させることが好ましい。

【0077】図11(A)は、フライアイレンズ8の入射面上に形成される4つの照明領域IAの形状を楕円形状とした例を示す。そして、図11(B)は、これら複数の照明領域IAとフライアイレンズ8を構成する複数の要素レンズ8aの入射面との関係を示す図である。この場合、照明領域IAのエッジは、要素レンズ8aにおける走査方向に対応した方向に対して連続的に傾いた方向となっている。

【0078】図11(B)からも明らかな通り、楕円形状の照明領域IAのエッジが、複数の要素レンズ8aに対してそれぞれ同じ位置で交差していないため、被照射面上での照度分布の不均一性(所望の分布からの偏り)、特に走査直交方向の不均一性を低減できる。

【0079】なお、この場合、フライアイレンズ8の射出側の開口絞り9によって、複数の要素レンズ8aのう

ち照明領域のエッジが交差している要素レンズを遮光しなくとも、照度ムラ低減の効果を得ることができる。ひいては、開口絞り9を用いない場合（または最大開口とする場合）であつても、照度ムラ低減効果を得ることができる。従って、リレーレンズ8をズーム光学系として複数の照明領域1Aの位置を連続的に変移させた場合においても、それらの照明領域1Aに対応して開口絞り9の開口部の位置を連続的に変移させる必要がない。

【0080】また、図11(C)に示すように、4つの照明領域1Aの形状を円形状としてもよい。なお、結像性能向上の観点に立てば、図11(A)のように複数の照明領域1Aの形状を楕円形状とした方が、図11(C)のように円形状とするよりも、フライアイレンズ8の射出側である3次光源の光量分布を光軸から離すことが可能であるため好ましい。

【0081】走査型露光装置では、複数の照明領域1Aのエッジの方向が走査直交方向と同方向であっても、この方向に沿った照度ムラは走査露光により積分されるため考慮しなくともよい。従って、回折光学素子52及びリレーレンズ7が形成する複数の照明領域1Aの形状としては、図11(D)に示すような六角形状であっても良い。この場合、要素レンズ8aの走査方向に対応する方向に対して斜めに照明領域1Aのエッジが交差するように設定すれば、被照射面上での照度ムラを低減させることができる。

【0082】なお、要素レンズ8aの走査方向に対応する方向に対して斜めに照明領域1Aのエッジが交差するように設定するならば、照明領域の形状は六角形状に限られず、他の多角形状でもよい。

【0083】例えば、図11(E)に示すように、照明領域1Aの形状は矩形状であってもよい。

【0084】一方、照明領域の形状が六角形状や矩形状であっても、そのエッジが要素レンズ8aの走査方向に対応する方向と平行となってしまう場合（例えば図11(D)に示す各照明領域1Aをその重心を中心として30°回転させたような場合）、照度ムラの低減効果が減少するため好ましくない。

【0085】また、以上の例では、4重極照明を前提としてフライアイレンズ8の入射面上に4つの照明領域1Aを形成したが、上記の原理は、8重極照明などの多重極照明にも応用できる。つまり、フライアイレンズ8の入射面上に形成される多重極照明を構成する各照明領域のエッジ方向を、フライアイレンズ8を構成する複数の要素レンズ8aの走査方向に対応した方向に対して傾斜させることにより、照度分布の均一性を向上させることができる。

【0086】以上の通り、回折光学素子及びリレーレンズによって波面分割型インテグレータの入射面に複数の照明領域を形成する場合、複数の照明領域のエッジが波面分割型インテグレータの要素レンズにおける走査方向

と対応する方向に対して傾くように設定することにより、被照射面上での照度ムラを低減させた状態のもとで結像性能を向上させ、かつ光量損失も低減できる効果を得ることができる。なお、照明領域の長軸を光軸を中心としたタンジェンシャル方向（サジタル方向）に設定すれば、さらに結像性能の向上を図ることができる。

【0087】ここで、本実施形態におけるフライアイレンズ8の詳細な構造について説明しておく。図12

(A)は、フライアイレンズ8を側方から見た図であり、図12(B)は、フライアイレンズ8を光軸に沿って見た図である。図示のように、フライアイレンズ8は、光軸方向に配置された2つのカバーガラス81、82によって保持されている。これらのカバーガラス81、82の外表面の中央部（光軸付近）には、遮光部材として、円形の遮光コーティング81a、82aが施されている。この遮光コーティング81a、82aを設けたことにより、回折光学素子51～53からの0次光が不要なノイズ光としてレチクル14のパターン面やウエハ16の表面に到達することを防ぐことができる。

【0088】ここで、0次光とは、回折光学素子の製造誤差によって発生する直進光成分のことである。この0次光は、リレーレンズ7の焦点位置に集光してしまう。したがって、この0次光を放置した場合、例えば図10では、照明領域1Aの中央には、明るい特異点ができてしまい、レチクル14やウエハ16の照明不均一を引き起こしてしまう。そこで、図12(A)、(B)のように、光軸上に遮光コーティング81a、82aを施して、0次光をカットして照明ムラの発生を防止しているのである。

【0089】図12では、2つのカバーガラス81、82にそれぞれ遮光コーティング81a、82aを施しているが、最低限、いずれか一方について0次光の遮光措置がなされていればよいことはいうまでもない。また、入射側については、遮光コーティング81aの代わりに粗ざり面加工を施しておいてもよい。

【0090】遮光コーティング81a、82aの形状としては、特に回折光学素子側（入射側）の遮光コーティング81aについては、フライアイレンズ8を構成する要素レンズ8aのXY断面形状を単位とした形状にしておくことが望ましい。フライアイレンズ8の入射側は、レチクル14のパターン面と共役であるため、要素レンズ8aの入射端が部分的に遮光されると、レチクル14の照明ムラとなってしまう虞があるからである。

【0091】なお、開口絞り61～66の面内での照明特性を回転対称にしたい場合には、フライアイレンズ8の射出側のカバーガラス82に回転対称の遮光パターンを生成しておくことが望ましい。

【0092】図13は、図12のフライアイレンズ8の構造を変形した例である。図13(A)は、変形したフライアイレンズ108を側方から見た図であり、図12

10

20

30

40

50

(B)は、フライアイレンズ108を光軸に沿って見た図である。この場合、カバーガラス181、182に遮光コーティングを施すのではなく、フライアイレンズ108の中央で要素レンズを金属製のダミー素子183に置き換えている。このようなダミー素子183は、ガラス材に遮光コーティングを施すことによって形成したものとして形成することができる。ガラス材からダミー素子183を形成する場合、回折光学素子側(入射側)については、遮光コーティングの代わりに粗ざり面加工としてもよい。

【0093】フライアイレンズ108中におけるダミー素子183の配置は、図13(B)に示すものには限定されない。0次光の入射範囲や、照明条件等に応じて図示の配置を適宜変更することができる。

【0094】図14は、図13のフライアイレンズ108の構造をさらに変形した例である。この場合、フライアイレンズ208の中心にダミー素子283を形成するとともに、ダミー素子283の軸心に差込穴(またはネジ穴)283aを設けている。さらに、カバーガラス281、282のうち出射側に開口を設け、遮光部材である遮光板284の中央から突出した突起を差込穴283aに差込む。これにより、周辺からの保持することなく、任意の形状の遮光板284をフライアイレンズ208の中央に配置することができる。

【0095】次に、輪帯状の発散特性を持つ第1の回折光学素子51と、円形の開口絞り65とを組み合わせ使用する場合について説明する。なお、この場合も、フライアイレンズ8では、図12～図14で示した0次光の遮光が行われているものとする。

【0096】このような組み合わせの照明では、上記した開口絞り66の場合と異なり、輪帯の内側絞りがないため回折光学素子51によって生成された輪帯照明領域の内側部分に関しては、照明領域の境界まで全て利用することができる。したがって、光量ロスを最小限に抑えつつ輪帯照明を行なうことができる。なお、4つ目状の発散特性を持つ第2の回折光学素子52と円形開口絞り65を組み合わせ使用する場合にも、回折光学素子51と開口絞り65の組み合わせの場合と同様の効果を得ることができる。

【0097】次に、レボルバ6A内における回折光学素子51～53の配置方法について説明する。図15に示すように、各回折光学素子は、保護容器105中に收容されている。この保護容器105は、回折光学素子51～53を支持する金属ホルダ105aと、金属ホルダ105aに固定されて平行に支持された一対の保護光学部材であるカバーガラス105bとを備える。つまり、回折光学素子51～53は、保護容器105の外側に存在する酸素が紫外線に励起されることによって発生するガス等の不純物の付着に対し、光軸方向に関しては両カバーガラス105bによって保護され、光軸に垂直な方向

に関しては金属ホルダ105aによって保護される。この場合、不純物が付着するのはカバーガラス105bだけであるから、不純物の付着によって透過率が劣化しても、高価な回折光学素子51～53を交換することなく、安価なカバーガラス105bの交換のみによって、透過率劣化を回復することが可能である。

【0098】ここで、回折光学素子51～53の光軸方向の配置について詳細に説明する。以上の実施形態では、回折光学素子をリレーレンズ7の焦点位置から光軸方向にシフトした位置に配置してある。これは、レチクル上に発生する干渉ノイズを低減するためである。

【0099】図16は、干渉ノイズの発生を説明する模式図である。干渉ノイズは、図4に示した±1次光がレチクル面で干渉することによって主に発生する。回折光学素子51をリレーレンズ7の焦点距離に配置した場合、回折光学素子51上のある1点から発生した±1次光は、対称的な角度で発生するために、それぞれ光軸に対して対称的な位置にある要素レンズ8aに入射するとともに、各要素レンズ8a内で同じ位置に入射する。これらの光束は、レチクル共役面にある視野絞り11の位置で再び合流し干渉ノイズを発生する。

【0100】光源1からの光がエキシマレーザのように発散角 $\alpha$ があるものであっても、干渉ノイズは低減されない。同図の点線の光束は光源の発散角 $\alpha$ によって傾斜を持って射出した成分を示している。このような光束では、要素レンズ8a上での入射位置が実線の場合からシフトする。しかし、回折光学素子51がリレーレンズ7の焦点位置にあることから、波面の傾斜は発生しない。図面中において、実線は垂直入射の場合の波面WS1を示し、点線は傾斜入射の場合の波面WS2を示す。このように、発散角 $\alpha$ があっても位相差が発生しないので、種々の角度 $\alpha$ で照明光が入射したとしても、各角度成分は、視野絞り11上に同じ干渉パターンを発生し、すなわち、発散角 $\alpha$ による干渉パターンの平均化は起こらない。

【0101】図17は、本実施形態における干渉ノイズの発生防止を説明する模式図である。この場合、回折光学素子51をリレーレンズ7の焦点位置から所定距離dだけ離して配置しているので、発散角 $\alpha$ によって±1次光の波面が相対的に傾斜し、発散角 $\alpha$ に応じた位相差が発生することが分かる。この現象は、フライアイレンズ8に入射する光線の角度がリレーレンズ7の焦点面(点線)を切る位置によって定まることから理解される。この現象を利用すれば、角度 $\alpha$ 毎に異なる干渉パターンが視野絞り11上に生成される。つまり、各角度 $\alpha$ による干渉ノイズの強度分布が互いに平均化され、視野絞り11と共役なレチクル14のパターン面等における干渉ノイズが低減される。

【0102】なお、上記の位相差は、発散角 $\alpha$ を一定とすると距離dが大きいほど大きくなる。また、上記の位

相差は、着目するフライアイレンズ8中の要素レンズ8aが光軸から離れているほど大きくなる。ここで、要素レンズ8aの最低位置（光軸からの距離）は、照明形態ごとにある値に定まる。よって、使用する照明条件の範囲で、発散角 $\alpha$ と要素レンズ8aの最低位置とが定まるならば、その最低位置における要素レンズ8aに関する $\pm 1$ 次光の位相差が波長以上となるように、距離dを調整しておくことが望ましい。

【0103】以上の説明では、回折光学素子51を光源側に距離dシフトする場合を示したが、回折光学素子51をフライアイレンズ8側にシフトした場合でも、同じ効果が得られる。また、以上の説明において、回折光学素子51の光軸方向の位置は、回折光学素子51がパターンニングされた面に対して定義されるものである。

【0104】（第2実施形態）図18は、本発明の第2実施形態に係る投影露光装置の構成を示す図である。基本的な構成は第1実施形態の装置と同様であるので重複する部分の説明は省略する。

【0105】第1から第3の回折光学素子51～53を光路中に位置させた場合に、回折光学素子を通過し、フライアイレンズ8の入射面上に照射された光は、スペックルパターンがノイズとなり均一な照度（強度）分布の照明が困難となる場合がある。そこで、回折光学素子51～53をレボルバ6Aごと振動機構部VBにより振動させることで、フライアイレンズ8の入射面上でスペックルパターンを振動させる。これにより、時間平均するとスペックルパターンは平滑化されるので、均一な光強度分布を得ることができる。

【0106】さらに、リレーレンズ7とフライアイレンズ8との間に楔状の偏向プリズムDPを配置し、モータMT3で該プリズムDPの中心と光軸AXとを略一致させて露光中に回転させることにより、フライアイレンズ8の入射面上に形成される光強度分布を回転させることができる。この結果、スペックパターンも回転するので、時間平均するとスペックルパターンは平滑化され、回折光学素子51～53を振動させた場合と同様に均一な照度分布の光を得ることができる。ここで、回折光学素子を振動させる事と偏向プリズムDPを使用する事の何れか一方、又は両方を行っても良い。

【0107】さらに、光源1がパルス光を射出する場合は、所定のパルス数ごとに回折光学素子51～53をシフト又はチルトさせて、スペックパターンを平均化しても良い。

【0108】（第3実施形態）図19は、本発明の第3実施形態に係る投影露光装置の構成を示す図である。図19では、コンデンサ光学系10とリレー光学系12の部分省略表示しているが、実際には図1の対応部分と同じ構成である。またその他の基本的構成についても第1実施形態の装置と同様である。

【0109】第3実施形態の装置における光束変換部

は、第1及び第2実施形態のようにレボルバ回転させて回折光学素子を選択する代わりに、カセットに収納した複数の回折光学素子のうちから必要な回折光学素子を選択して光路上に配置することによって、フライアイレンズ8の入射面側に所望の強度分布の光を供給する。このため、光束変換部は、回折光学素子151を収納するカセット58aと、カセット58aから回折光学素子151を受け取って搬送する搬送路58bと、搬送路58bから回折光学素子151を受け取って支持する支持部材58cとからなる。

【0110】カセット58aは、回折特性が異なる複数の回折光学素子151を貯蔵している。このカセット58aは、CPU（図示省略）からの信号に基づいて所望の照明条件に対応する回折光学素子151を送り出し、搬送路58bは、カセット58aから送り出された回折光学素子151を照明光の光路に向けて搬送する。搬送路58bを通った回折光学素子151は、支持部材58cに搬入されて照明光の光路上で固定される。

【0111】なお、支持部材58c中に保持された不要な回折光学素子151は、交換に際して予め光路上から除去される。つまり、光路上に移動させるべき新たな回折光学素子151をカセット58aから搬出する前に、光路上から除去すべき元の回折光学素子151、すなわち支持部材58c中に保持された回折光学素子151を搬送路58bを介してカセット58a中に格納する。

【0112】ここで、カセット58aは、取り外し可能であり、交換可能とする。この場合、収納している回折光学素子151の種類が異なる種々のカセットを予め備えておき、所望のカセットを自動的に選択して搬送路58bに接続する構成としてもよい。

【0113】以上のようなカセット58aを用いた場合、フライアイレンズ8上の強度分布のバリエーションが増える。例えば、同じように輪帯形状の回折特性を利用する場合であっても、種々の最大発散角と最小発散角を組み合わせることによって多様な輪帯照明を行うことができる。このようにフライアイレンズ8上の強度分布のバリエーションを増やすことにより、フライアイレンズ8の出射側に配置する輪帯開口絞りの形状を多様に調節し、照明の瞳分布をきめ細かく調整した場合にも、照明光量を無駄にすることがない。なお以上では、輪帯照明の場合について説明したが、円形照明、四つ目形状照明の場合についても同様な効果がある。

【0114】回折光学素子151を保持する支持部材58cは、図15に示す場合と同様に、カバーガラス58dによって周囲に対して気密に仕切られた支持室になっている。この支持室には、不活性ガス、例えば窒素、ヘリウムガス等をバージしておくことが望ましい。この場合、支持部材58cの外側で発生するガス等に起因する不純物の付着から回折光学素子151を保護することができ、安価なカバーガラス58dの交換のみによって、

10

20

30

40

50

透過率劣化を回復することが可能である。また、支持部材58cから延びる搬送路58bに対してカセット58aを着脱自在としているので、不純物によるくもり対策になるのみならず、回折光学素子151のメンテナンスが容易となる。

【0115】さらに、第3実施形態に係る投影露光装置では、リレーレンズ7を2分割して前群7aと後群7bとに分け、さらに両群7a、7bの間に振動ミラー7cを配置している。前群7aと後群7bの少なくとも一方には、駆動機構72を設けており、前群7aと後群7bの少なくとも一方を3次元的に微動させたり、光軸に垂直な一対の軸回りに微少回転させることができるようになっている。振動ミラー7cにも、駆動機構73を設けており、振動ミラー7cを3次元的に微動させたり、光軸に垂直な一対の軸回りに微少回転させることができるようになっている。なお干渉ノイズ低減のために露光時間中に振動ミラー7cの角度を変化させる駆動機構は、不図示であり、駆動機構73とは別に設けてある。

【0116】動作について説明すると、駆動機構72によって前群7a及び後群7bの少なくとも一方をXYシフトまたはXYチルトさせて（Z軸は光軸に平行とする）、回折光学素子151によって形成される照明領域とフライアイレンズ8の入射面との位置合わせを行なう。一方、駆動機構73によってミラー7cをXYチルトさせて、照明領域の位置合わせを行なうこともできる。

【0117】また、駆動機構72によって前群7a及び後群7bの少なくとも一方をZ方向シフトによってフライアイレンズ8の入射面上の照明領域の大きさを調整する。

【0118】以上のような駆動機構72、73を適宜動作させることにより、レチクル17のパターン面又はウエハ16の露光面での照明ムラとテレセン度を高精度に調整することができる。ここで、テレセン度とは、ウエハ16等に入射する照明光束の傾きの少なさを意味し、ウエハ16の露光面等における結像の等方性を意味する。照明ムラやテレセン度はフライアイレンズ8の後段に設けたコンデンサ光学系10に含まれる光学要素のシフトまたはチルトによって調整することができるが、フライアイレンズ8の前段に設けたリレーレンズ7を構成する光学要素の微動と組み合わせることによって、より高精度な調整が可能となる。

【0119】（第4実施形態）図20は、本発明の第4実施形態に係る投影露光装置の構成を示す図である。基本的な構成は第1実施形態の装置と同様であるので重複する部分の説明は省略する。

【0120】第4実施形態の装置におけるリレーレンズ207は、一対のレンズ群207a、207bからなるズームレンズとなっており、ズーム駆動機構207dによってフライアイレンズ8に投影する照明領域のサイズ

を適宜調節することができるようになっている。ズーム駆動機構207dは、入力されたズーム倍率に応じて、リレーレンズ207を構成する両レンズ群207a、207bを適宜ズーム動作させることができる。また、両レンズ群207a、207bの少なくとも1つは、電動機構207eによって単独で移動させることができるようになっている。このように、レンズ群207bを単独で移動させることによってフライアイレンズ8の照明状態を変更することができるので、マスク14における照明情報に応じて照明分布を最適化するという制御が可能になる。

【0121】また、コンデンサ光学系210も、一対のレンズ群210a、210bからなるズームレンズとなっている。また、光源1と回折光学素子51～54との間には、光源1からの光束に多重位相変化を与える光遅延素子21が配置されている。また、回折光学素子51～54は、出射側に光束を変化させるプリズム等を設けたフライアイインテグレータやマイクロ・フライアイ・レンズに置き換えることができる。

【0122】動作について説明すると、光源1からの光束は、光遅延素子21を通して回折光学素子51～54に入射する。この回折光学素子51～54は、図1に示すと同様のレボルバ6Aによって他の回折光学素子と交換可能になっており、任意の回折角度特性を有する多光源像を形成することができる。この多光源像から射出された光束は、リレーレンズ207で集光され、所望の照明領域でフライアイレンズ8に入射する。このフライアイレンズ8は、図1に示すと同様のレボルバ6Bによってサイズ等が異なる他のフライアイレンズと交換可能になっている。フライアイレンズ8の射出側では、実質的な面光源が形成され、この面光源から発散された光束は、コンデンサ光学系210を通してリレー光学系12に入射し、ミラー13で反射される。リレー光学系12及びミラー13を通過した光束は、レチクル又はマスク14に形成されたパターンを重畳的に均一に照明する。均一照明されたレチクル又はマスク14上のパターンは、投影レンズ15によって被露光物体であるウエハ16に投影露光される。

【0123】ここで、リレーレンズ207は、焦点距離を変更することにより、フライアイレンズ8の入射面上に所望の大きさで照明することができる。この時、レチクル14が均一に照明されず、照明ムラがあつた場合、リレーレンズ207を構成する一方のレンズ群207bを独立に光軸方向に移動させる。このようにレンズ207bを独立して移動させることにより、ズームレンズであるリレーレンズ207のデイスティーションを変化させ、形成される像の位置もずれるため、フライアイレンズ8の入射面側での像をぼかすことができる。これにより、フライアイレンズ8の射出面側で形成される実質的な面光源が変化し、面光源の状態を調整することができる。



さらに、面光源に変化があると、マスク14での照明ムラも変化するため、レンズ207bを動かすことで照明ムラを調整し、さらにウエハ16上における露光ムラを低減することができる。

【0124】さらに、リレーレンズ207を構成する各レンズ群207a、207bをズーム駆動機構207dによって移動させて倍率を適宜変更することにより、フライアイレンズ8の入射面における照明領域のサイズ、すなわちフライアイレンズ8の射出面側に形成される面光源の大きさを調整することができる。なお、ズーム駆動機構207dによって面光源の大きさを調整することにより、マスク14上で照明ムラが生じた場合などにおいては、上記と同様に電動機構207eによってリレーレンズ207のレンズ群207bを動かすことにより、照明ムラや露光ムラを調整することができる。

【0125】なお、上記第4実施形態のリレーレンズ207では、ズーム駆動機構207dによってズーム倍率を変更し、電動機構207eによってフライアイレンズ8の照明状態を変更することとしているが、ズーム倍率と照明状態の双方を変更する必要はない。例えば、ズーム駆動機構207dによってズーム倍率を変更するだけでもよく、電動機構207eによってフライアイレンズ8の照明状態を変更するだけでもよい。

【0126】（第5実施形態）図21は、本発明の第5実施形態に係る投影露光装置の要部を示す図である。基本的な構成は第1実施形態の装置と同様であるので重複する部分の説明は省略する。

【0127】第5実施形態の装置におけるリレーレンズ307は、一対のレンズ群307a、307bからなっており、駆動機構307dによって焦点距離やビント位置を適宜調節できるようになっている。

【0128】リレーレンズ307のビント位置を調節する際には、駆動機構307dを動作させて両レンズ群307a、307bいずれか一方を光軸方向に移動させる。

【0129】一方、リレーレンズ307の焦点距離を調節する際には、駆動機構307dを動作させて両レンズ群307a、307bの間隔を調整する。この際、リレーレンズ307全体としての前側焦点面を回折光学素子51の射出面にはば一致させるように、両レンズ群307a、307bを全体として光軸方向に移動させる。

【0130】図22及び図23は、駆動機構307dによってリレーレンズ307の焦点距離やビント位置を調節した場合における、フライアイレンズ8の入射面側での照射領域の変化を示す。

【0131】図22（A）は、円形である当初の照明領域IA1を示し、図22（B）は、焦点距離やビント位置の調節後の照明領域IA2を示す。駆動機構307dによってリレーレンズ307の焦点距離やビント位置を調節することで、比較的小さな照明領域IA1から比較

的大きな照明領域IA2に変更できることが分かる。なお、リレーレンズ307の焦点距離を短くする場合、調整後の照明領域は、当初の照明領域IA1よりも小さくなる。

【0132】図23（A）は、環状である当初の照明領域IA3を示し、図23（B）は、焦点距離の調節後の照明領域IA4を示し、図23（C）は、ビント位置の調節後の照明領域IA5を示す。

【0133】図23（A）と図23（B）の比較により明らかなように、駆動機構307dによってリレーレンズ307の焦点距離を調節することで、比較的小さな照明領域IA3を相似に拡大した照明領域IA4に変更できることが分かる。つまり、輪帯照明の内側の径と外側の径とを比例させて全体のサイズを適宜変更することができる。

【0134】また、図23（A）と図23（C）の比較により明らかなように、駆動機構307dによってリレーレンズ307のビント位置を調節することで、照明領域IA3の輪帯比を変更した照明領域IA5を得ることができる。つまり、輪帯照明の内側と外側との間隔を適宜変更することができる。

【0135】本実施形態では、駆動機構307dによってリレーレンズ307の焦点距離やビント位置を適宜調節しているので、フライアイレンズ8をある程度の自由度をもって可変に照明することができるので、光量損失を効果的に低減することができる。

【0136】また、本実施形態では、フライアイレンズ8を構成する要素レンズの個数、すなわち積分個数を300個以上としている。このため、フライアイレンズ8の射出面側に配置される絞りを可変開口絞りとするまでもなく、フライアイレンズ8に入射する光束のサイズを変更するだけで照明条件を変更しても、マスク14における照明ムラの発生を低く抑えることができる。このことを、以下に詳細に説明する。

【0137】フライアイレンズ8を構成する要素レンズは、一辺の長さがdである正方形断面を有するものと仮定する。また、フライアイレンズ8の照明領域の半径をRとすると、フライアイレンズ8全体による積分個数Nは、

$$N = \pi \cdot R^2 / d^2 \quad (1)$$

で与えられる。また、フライアイレンズ8の周辺を構成する要素レンズの個数N<sub>s</sub>は、おおよそ

$$N_s = 2\pi R / d \quad (2)$$

となる。これら周辺の要素レンズは、部分的に照明されるので、照明ムラの原因となる可能性がある。周辺の一つ要素レンズによって生じる照明ムラは最大で100%の可能性はあるが、周辺ではだんだんと照度が弱くなるので、生じるむらも少なくなり、絶対的な影響度も小さくなる。よって、総合的に考えると、周辺の一つの要素レンズによって生じる照明ムラの影響は、1/3程度と

見積もることができる。さらに、周辺領域における統計的ランダム性より、それらの数の平根で照明ムラへの影響がある。よって、照明ムラを1%以下にするためには、

$$(1/3) \cdot (2/\pi)^{1/2} \cdot (d/R)^{1/2} < 0.01 \quad (4)$$

となる。さらに(1)、(4)式より

$$N > \pi \cdot (1/3)^{1/2} \times (2/\pi)^{1/4}$$

$$\times (0.01)^{-1/2} = 249 \quad (5)$$

を得る。すなわち、フライアイレンズ8による分割数が約300を越えると、照明ムラの発生が抑えられる。特に照明条件を変えたときにも、照明ムラの発生が十分に抑えられることが分かる。

【0138】なお、走査型の露光装置の場合、一つの照明領域がすなわちフライアイレンズ8を構成する要素レンズの断面が長方形であるが、上記の場合とほぼ同様の理論によって照明ムラの発生が抑えられる。

【0139】以上の説明では、第2のオブティカルインテグレートとしてフライアイレンズ8を用いる場合について説明したが、フライアイレンズ8に代えてロッドインテグレートを用いることもできる。図24は、第2のオブティカルインテグレートとしてロッドインテグレートを用いた変形例を示す。この場合、回折光学素子51~54からの光束は、リレーレンズ307を介してロッドインテグレート408aの前側焦点面FFを所望の照度分布で重畳的に照明する。ロッドインテグレート408aの入射端側には、コンデンサレンズ408bが配置されており、ロッドインテグレート408aの入射端の近傍に光源面を形成する。また、ロッドインテグレート408aの出射端は、レチクルブラインドに相当し、マスク14と共役な位置となっている。図示の装置でも、リレーレンズ307を2群のレンズで構成して焦点距離やピント位置を調節することにより、前側焦点面FFにおける照明領域のサイズや比率を適宜調節することができる。

【0140】以上の第5実施形態では、第1のオブティカルインテグレートとして回折光学素子を用いているが、これに代えてフライアイレンズを用いることができることは言うまでもない。

【0141】また、以上の第5実施形態では、リレーレンズ307を2群のレンズで構成して焦点距離やピント位置を調節しているが、リレーレンズ307を3群のレンズで構成してフライアイレンズ8やロッドインテグレート408aの照明のテレセン性を確保することもできる。

【0142】以上説明した第1~第5実施形態においては、光源1として、例えばKrFエキシマレーザ(波長:248nm)やArFエキシマレーザ(波長:193nm)等、波長が180nm以上の照明光すなわち露光光を用いることができる。この場合、回折光学素子51~53、151は、例えば石英ガラスで形成することができる。

$$* (1/3) \cdot (N_s)^{1/2} / N < 0.01 \quad (3)$$

となる必要がある。よって、(1)、(2)、(3)式より

\*

$$(1/3) \cdot (2/\pi)^{1/2} \cdot (d/R)^{1/2} < 0.01 \quad (4)$$

【0143】なお、露光光として200nm以下の波長を用いる場合には、回折光学素子51~53、151を螢石、フッ素がドーブされた石英ガラス、フッ素及び水素がドーブされた石英ガラス、構造決定温度が1200K以下で且つOH基濃度が1000ppm以上である石英ガラス、構造決定温度が1200K以下で且つ水素分子濃度が $1 \times 10^{17}$  molecules/cm<sup>3</sup>以上である石英ガラス、構造決定温度が1200K以下でかつ塩素濃度が50ppm以下である石英ガラス、及び構造決定温度が1200K以下で且つ水素分子濃度が $1 \times 10^{17}$  molecules/cm<sup>3</sup>以上で且つ塩素濃度が50ppm以下である石英ガラスのグループから選択される材料で形成することが好ましい。

【0144】ここで、構造決定温度が1200K以下で且つOH基濃度が1000ppm以上である石英ガラスについては、本願出願人による特許第2770224号公報に開示されており、構造決定温度が1200K以下で且つ水素分子濃度が $1 \times 10^{17}$  molecules/cm<sup>3</sup>以上である石英ガラス、構造決定温度が1200K以下でかつ塩素濃度が50ppm以下である石英ガラス、及び構造決定温度が1200K以下で且つ水素分子濃度が $1 \times 10^{17}$  molecules/cm<sup>3</sup>以上で且つ塩素濃度が50ppm以下である石英ガラスについては、本願出願人による特許第2936138号公報に開示されている。

【0145】以上説明した第1~第5実施形態においては、フライアイレンズ8及び補助フライアイレンズ54を、複数の要素レンズを集積して形成しているが、これらをマイクロ・フライアイ・レンズとすることも可能である。マイクロ・フライアイ・レンズとは、光透過性基板にエッチングなどの手法により複数の微少レンズ面をマトリックス状に設けたものである。複数の光源像を形成する点に関して、フライアイレンズとマイクロ・レンズ・アレイとの間に機能上の差異は実質的にはないが、1つの要素レンズ(微少レンズ面)の開口の大きさを極めて小さくできること、製造コストを大幅に削減できること、光軸方向の厚みを非常に薄くできることなどの点で、マイクロ・フライアイ・レンズの方が有利である。

【0146】また第1~第4実施形態では、第2のオブティカルインテグレートとしてフライアイレンズ8を用いているが、その代わりに、四角柱、六角柱などの多角柱状、あるいは円柱状の内面反射面を有するロッド型インテグレートを用いた実施形態をとることも可能である。

【0147】

【発明の効果】以上の説明から明らかなように、本発明

の第1の照明装置によれば、従来のフライアイレンズに代えて、光源部からの光束を波面分割するように回折させる回折光学素子と該回折光学素子からの回折光を所定面上で重畳させ該所定面上で所定の断面形状の光束に変換する光学要素を含む光束変換部を用いており、前記回折光学素子の回折特性は、前記所定面上における光強度分布を変更可能にするために変更可能である。したがって、照明条件の変更に伴って所望の領域を正確に照明できるので、光量を有効に使用でき高照度な照明が可能である。

【0148】また、本発明の第2の照明装置によれば、光源部と波面分割型インテグレータとの間に、光源部からの光束を波面分割するように回折させる回折光学素子と回折光学素子からの回折光を所定面上で互いに重畳させ該所定面上で所定の断面形状の光束に変換する光学要素を含む光束変換部が配置されており、前記波面分割型インテグレータが、実質的に前記所定面上に配置される。したがって、前記所定面上に配置される前記波面分割型インテグレータの所望の領域を必要に応じて正確に照明できるので、光量を有効に使用でき高照度な照明が可能である。

【0149】また、本発明の第3の照明装置によれば、光束を所定の断面形状に変換する回折光学素子を用いているので、所望の領域を正確に照明でき、光量を有効に使用して高照度な照明が可能である。また、フライアイレンズと比較して材料が少なく済み、かつ大きさも小さいので製造コストを低減できる。さらに、簡便な構成で様々な形状の領域を照明できる。

【0150】また、本発明の第4の照明装置によれば、前記回折光学素子による前記照明領域が前記走査の方向に対応する方向に対して傾けられたエッジを有するので、このエッジに対応する複数の要素レンズにおいて走査直交方向の照度分布が連続的に変化する。よって、感光性基板上においては、走査直交方向に関し、全体としては均一な照度分布を得ることができる。

【0151】また、本発明の第5の照明装置によれば、前記光学要素が複数のレンズ要素からなり、該複数のレンズ要素の少なくとも1つの移動により当該光学要素の屈折力及び焦点位置の少なくとも一方を調節可能であるので、所定面上に重畳する光束の大きさや寸法比等を必要に応じて適宜調整することができる。よって、マスク上における照度分布を所望の状態とできるとともに、照明光の損失を最小限に抑えることができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施形態にかかる投影露光装置の構成を示す図である。

【図2】(A)は補助フライアイレンズと回折光学素子とが設けられたレボルバの構成を示す図である。(B)は開口絞りが設けられたレボルバの構成を示す図である。

【図3】(A)は回折光学素子の構成、(B)は回折光の様子、(C)は回折光の光強度分布をそれぞれ示す図である。

【図4】(A)は回折光学素子の斜視図、(B)、(C)は回折角度を説明する図である。

【図5】所定面上における光強度分布を示す図である。

【図6】光量の損失を説明する図である。

【図7】(A)、(B)、(C)は所定面上における他の光強度分布(輪帯形状)を示す図である。

10 【図8】(A)は回折光学素子の照明領域を示し、(B)はフライアイレンズの出射端の一部を示す。

【図9】(A)、(B)は所定面上における別の光強度分布(四つ目形状)を示す図である。

【図10】所定面上におけるさらに別の光強度分布(樽型)を示す図である。

【図11】(A)～(E)は、フライアイレンズと照明領域との関係を説明する図である。

【図12】(A)、(B)はフライアイレンズの構造を説明する側面図及び裏面図である。

20 【図13】(A)、(B)はフライアイレンズの別の構造を説明する側面図及び裏面図である。

【図14】フライアイレンズのさらに別の構造を説明する側面図及び裏面図である。

【図15】回折光学素子の保持及び収納を説明する側面図である。

【図16】回折光学素子の配置を説明する側面図である。

【図17】回折光学素子の配置を説明する側面図である。

30 【図18】本発明の第2実施形態にかかる投影露光装置の構成を示す図である。

【図19】本発明の第3実施形態にかかる投影露光装置の構成を示す図である。

【図20】本発明の第4実施形態にかかる投影露光装置の構成を示す図である。

【図21】本発明の第5実施形態にかかる投影露光装置の要部を示す図である。

40 【図22】(A)、(B)は、図21の装置における第2のインテグレータの照明領域の変更の一例を説明する図である。

【図23】(A)、(B)、(C)は、図21の装置における第2のインテグレータの照明領域の変更の別の例を説明する図である。

【図24】図21の装置の変形例を説明する図である。

【図25】(A)はフライアイレンズを用いた光学系、(B)は従来の投影露光装置の光学系を示す図である。

【図26】従来のフライアイレンズによる光強度分布を示す図である。

50 【図27】(A)輪帯形状の開口絞りの構成を示し、(B)は四つ目形状の開口絞りの構成を示す図である。

31

32

【図28】 光量の損失を説明する図である。

【符号の説明】

1 光源

2 エキスパンダ

3, 13 反射ミラー

MT1, MT2 モータ

6A, 6B レボルバ

51~53, 151 回折光学素子

54~56 補助フライアイレンズ

\* 7 リレーレンズ

8 フライアイアイレンズ

61~66 開口絞り

10 コンデンサ光学系

12 リレー光学系

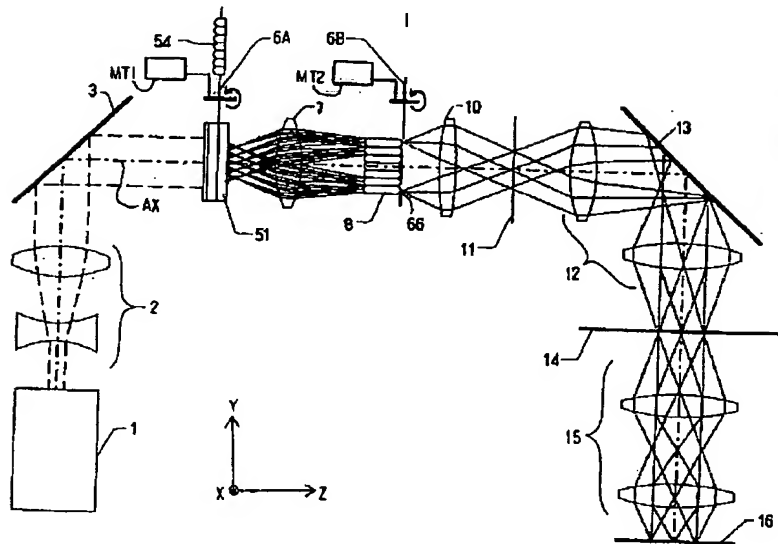
11 視野絞り

14 マスク

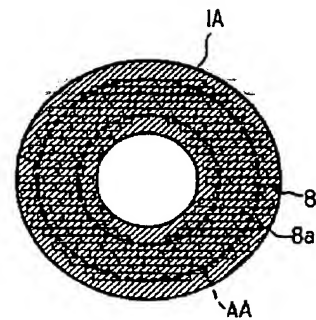
15 投影光学系

\* 16 被露光基板

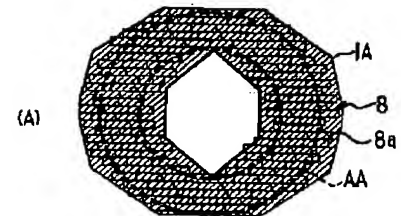
【図1】



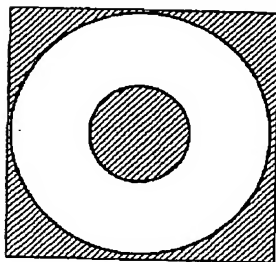
【図5】



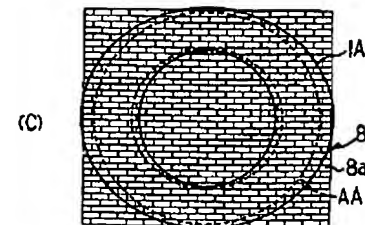
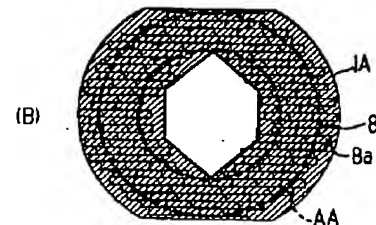
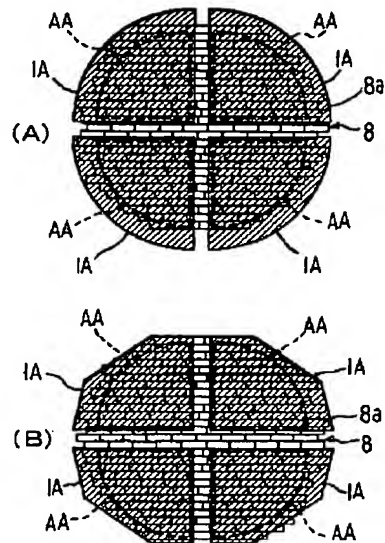
【図7】



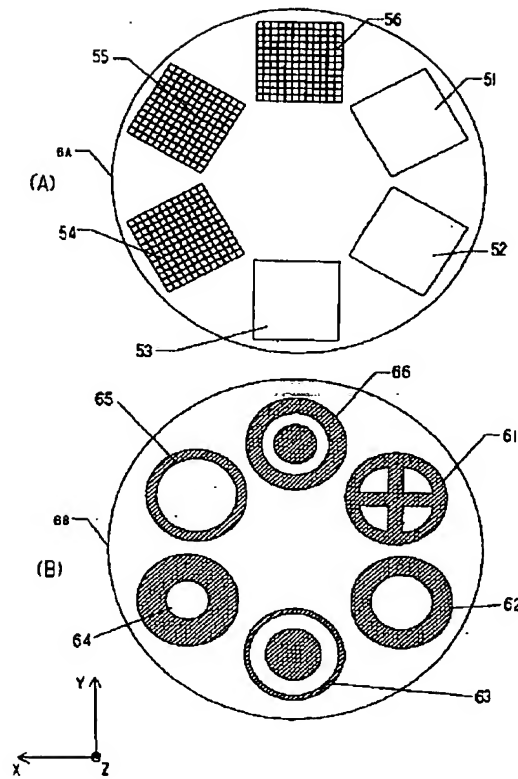
【図6】



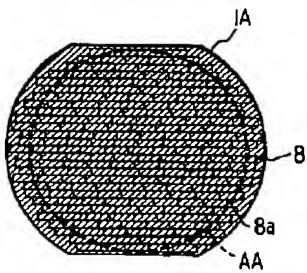
【図9】



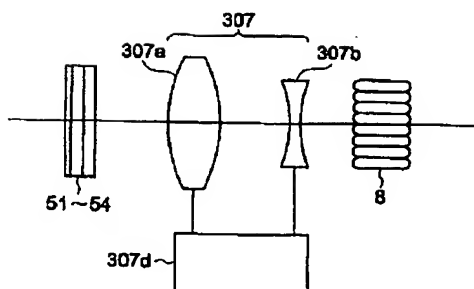
【図2】



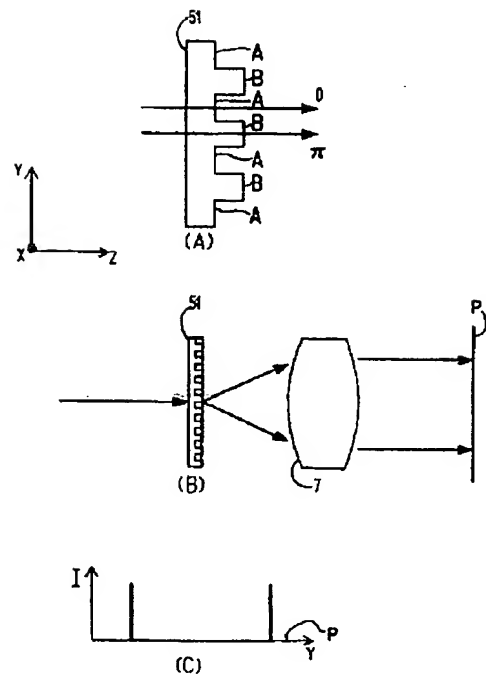
【図10】



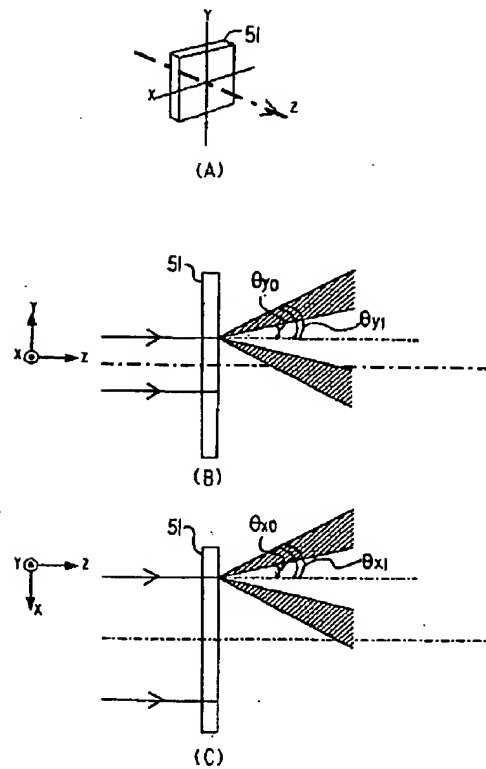
【図21】



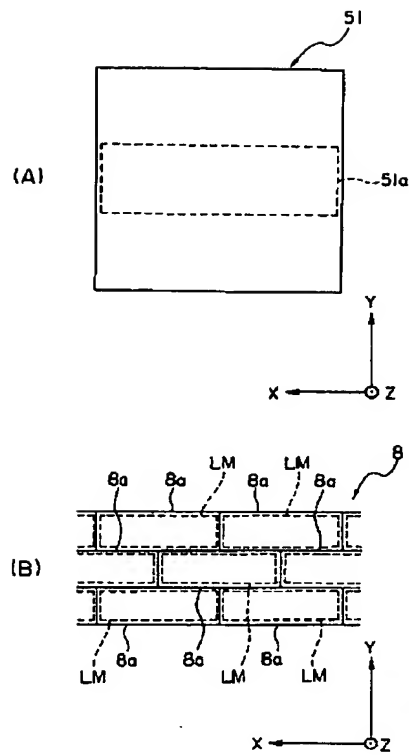
【図3】



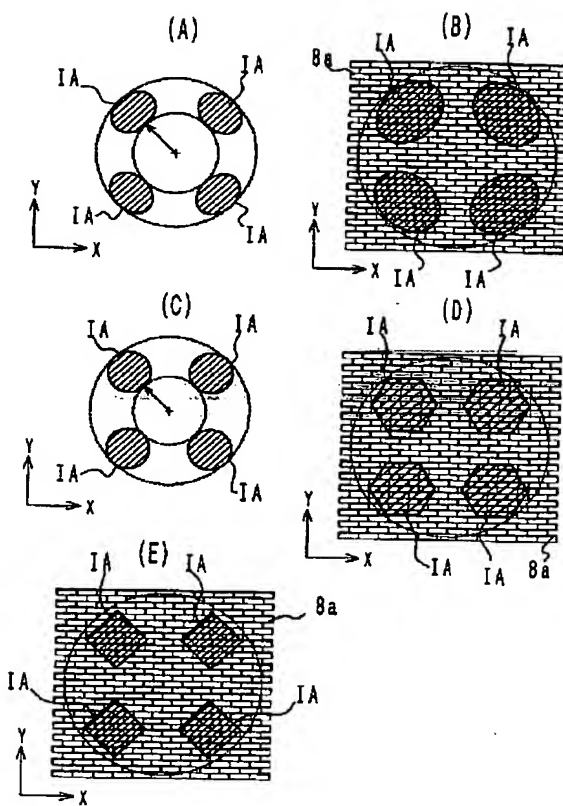
【図4】



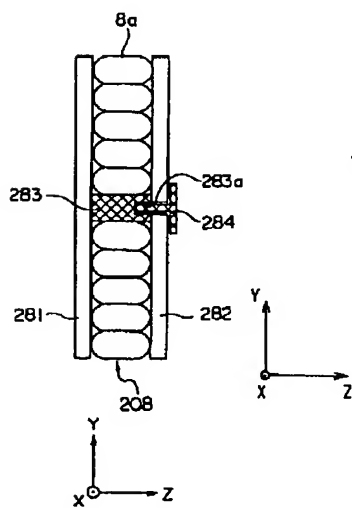
【図8】



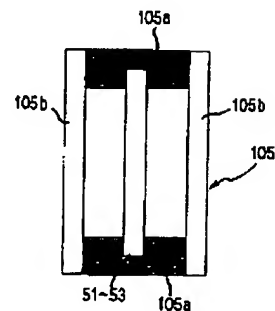
【図11】



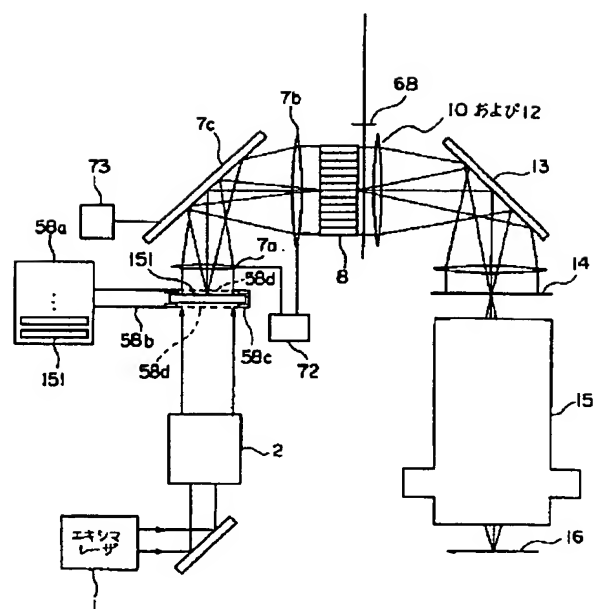
【図14】



【図15】

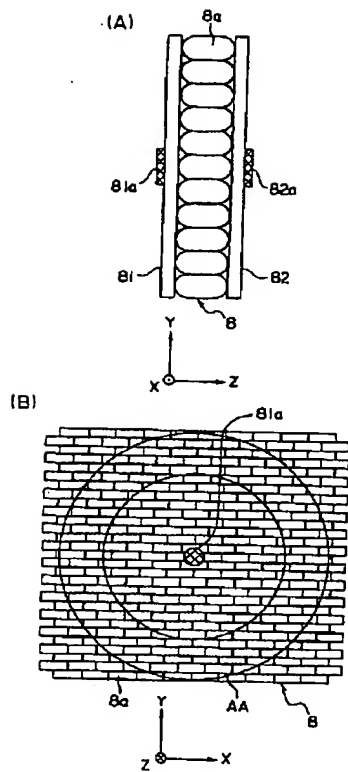


【図19】

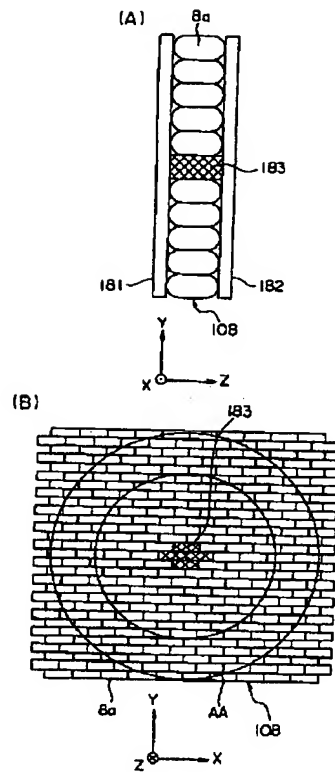




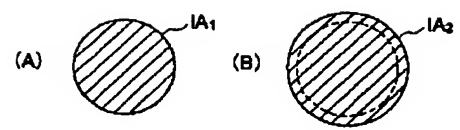
【図12】



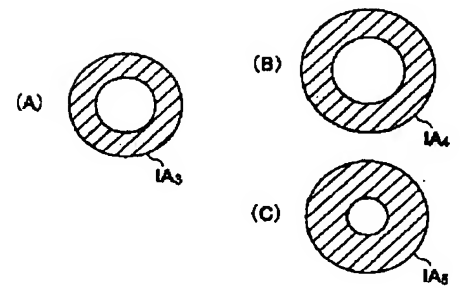
【図13】



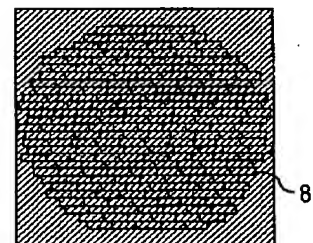
【図22】



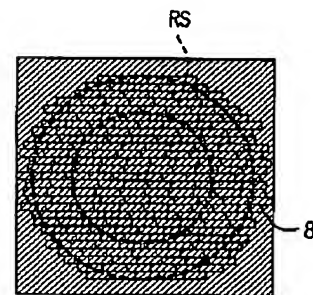
【図23】



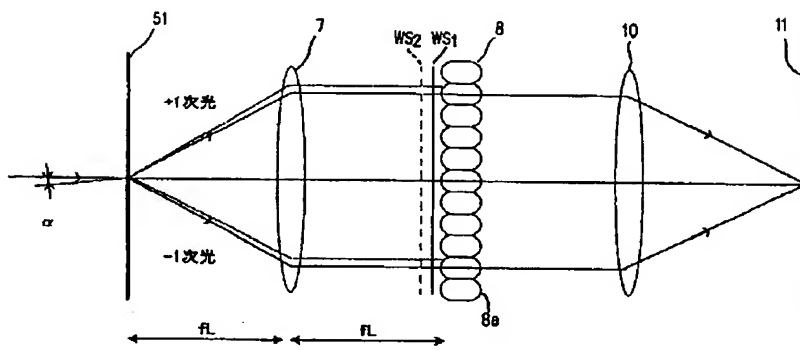
【図26】



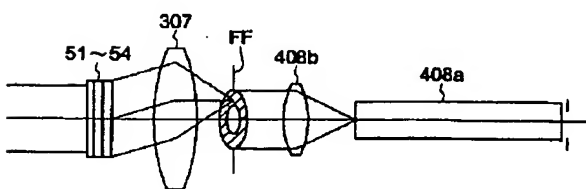
【図28】



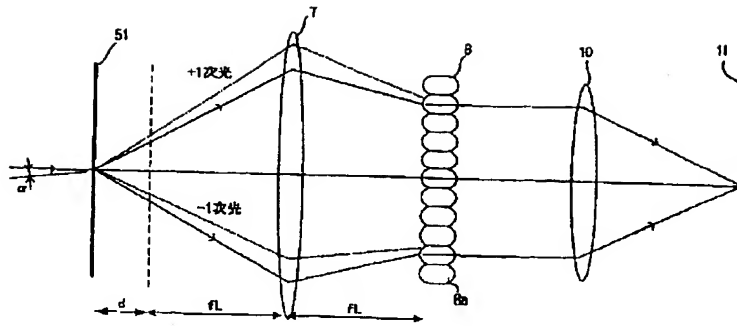
【図16】



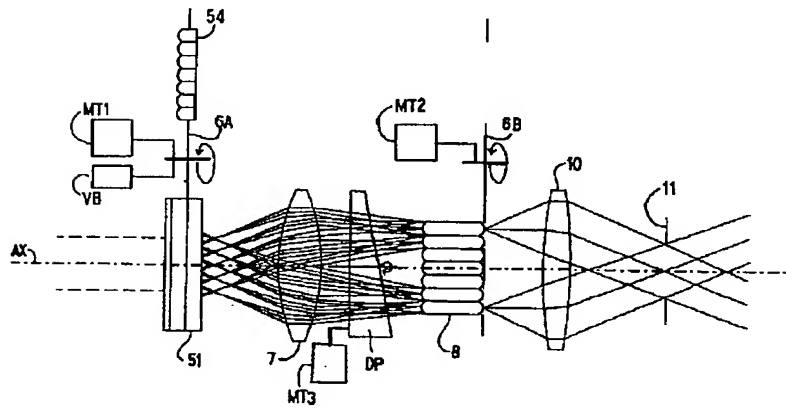
【図24】



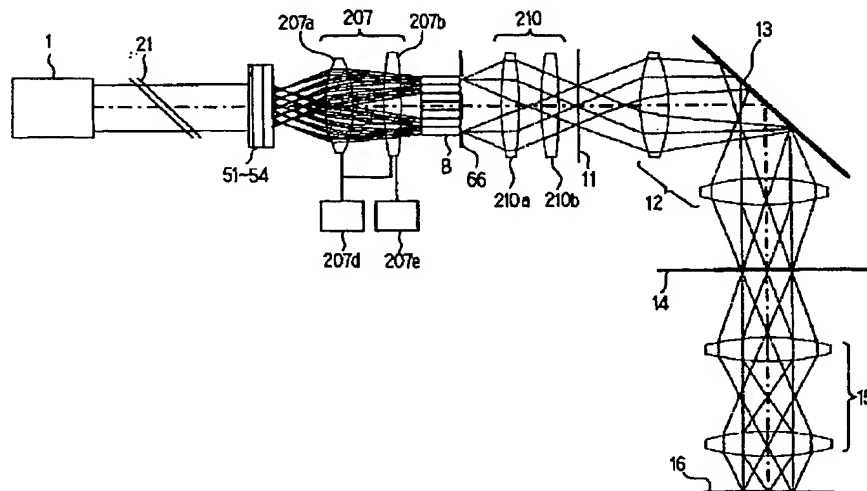
【図17】



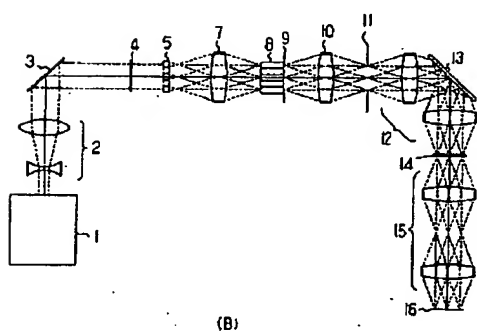
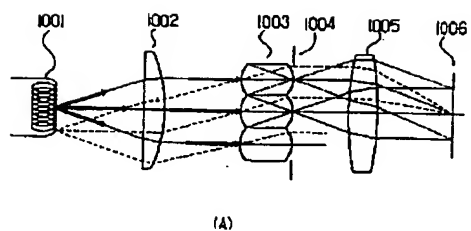
【図18】



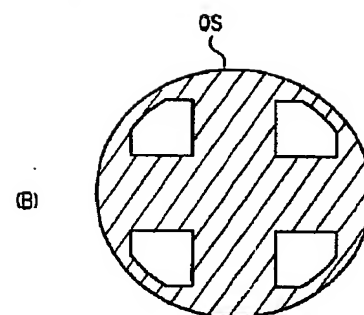
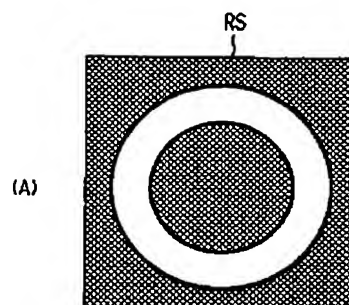
【図20】



【図25】



【図27】



フロントページの続き

(72)発明者 谷津 修  
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株  
式会社ニコン内

(72)発明者 波谷 真人  
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株  
式会社ニコン内

Fターム(参考) 5F046 BA04 CA04 CB05 CB10 CB12  
CB13 CB23